

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra robototechniky**

**Návrh montážního pracoviště v centru robototechniky**

***Assembly Workplace Design in the Centre of Robotics***

Student :

Tomáš Chlopčík

Vedoucí bakalářské práce :

doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Místo přísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5.2011

.....

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....

.....

Plné jméno autora práce:

Tomáš Chlopčík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bohuslavice, Školní 283, 747 19

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

CHLOPČÍK, T. *Návrh montážního pracoviště v centru robototechniky*, Ostrava: Katedra Robototechniky, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 59 s. Bakalářská práce, vedoucí: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Bakalářská práce je zaměřena na návrh montážního pracoviště na centru robototechniky za použití průmyslových robotů Mitsubishi RV-2AJ a ABB IRB 140. V úvodu práce je vypracována rešerše analyzující stávající zařízení centra robototechniky. Následně jsou vypracovány 3 varianty montážních pracovišť. Pomocí hodnotové analýzy je vybrána optimální varianta pracoviště. Druhá část práce je zaměřena na konstrukční návrh vybraného periferního zařízení. V práci je doložena výkresová dokumentace dispozičního řešení optimální varianty, sestavný výkres periferního zařízení a 3D model.

## ANNOTATION OF THESIS

CHLOPČÍK, T. *Assembly Workplace Design in the Centre of Robotics*, Ostrava: Department of Robotechnics, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2011 59 p, Bachelor Thesis, Head: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

The bachelor thesis is focused on the design of assembly workplace in the centre of robotics by using industrial robot Mitsubishi RV-2AJ and ABB IRB 140. In the beginning there is a background research to analyse the existing machinery facilities of Robotics Centre. Subsequently, there is a design of three variants of assembly workplaces. Using value analysis the optimal option of workplace is selected. The second part deals with the design of the selected peripheral device. The work is accompanied by drawings of the optimal layout, the plan of the peripheral facilities and the 3D model.

# Obsah

Seznam použitého značení.....	9
Úvod.....	11
1 Analýza .....	12
1.1 Průmyslový robot ABB IRB 140 .....	12
1.2 Průmyslový robot Mitsubishi RV-2AJ.....	14
1.3 Polohovací zařízení OJ-10P .....	16
1.4 Řídicí systém ABB IRC5 .....	18
2 Návrh jednotlivých pracovišť .....	19
2.1 Požadavkový list .....	19
2.2 Varianta A .....	19
2.3 Varianta B .....	22
2.4 Varianta C .....	24
3 Výběr optimální varianty .....	26
3.1 Bodovací stupnice .....	26
3.2 Kritéria hodnocení.....	26
3.3 Hodnocení jednotlivých kritérií .....	27
3.4 Určení významnosti kritérií.....	28
3.5 Určení váhy významnosti.....	29
3.6 Hodnocení jednotlivých variant .....	29
3.7 Vyhodnocení a určení optimální varianty .....	30
4 Vypracování optimální varianty .....	31
4.1 Síla potřebná ke spojení dvou komponentů .....	31
4.2 Volba efektoru.....	31
4.3 Dopravník.....	32
4.4 Podpora .....	33
4.5 Vozík .....	33
4.6 Vyjmutí složeného autíčka .....	34
.....	35
4.7 Výpočet potřebného výkonu motoru.....	35
4.7.1 Předběžný výpočet výkonu motoru .....	35
4.7.2 Volba motoru a převodovky .....	36
4.7.3 Kontrolní výpočet výkonu motoru.....	37
4.8 Geometrický výpočet pastorku a ozubeného hřebene.....	41
4.8.1 Volba vstupních parametrů .....	41
4.8.2 Volba materiálů a provozních parametrů.....	41
4.8.3 Základní rozměry ozubení .....	42

4.9	Rychlostní průběh pro rotační pohyb .....	43
4.10	Nosná konstrukce .....	44
4.11	Výpočet nosné konstrukce.....	45
4.11.1	Volba vstupních parametrů.....	45
4.11.2	Materiál profilu .....	46
4.11.3	Profil nosníku.....	46
4.11.4	Výsledný průhyb a reakce v podporách.....	46
4.12	Palety .....	47
4.12.1	Zásobovací paleta .....	47
4.12.2	Odkládací box .....	48
4.13	Časová studie.....	48
5	Instalace periférií .....	49
5.1	Kotvení.....	49
5.2	Použité energie .....	50
5.3	Bezpečnost .....	50
6	Technicko-ekonomické zhodnocení .....	51
7	Závěr .....	53
8	Reference .....	55
8.1	Použitá literatura .....	55
8.2	Internetové zdroje.....	55
8.3	Seznam použitých obrázků .....	56
8.4	Seznam použitých tabulek.....	57
9	Seznam příloh .....	58
9.1	Dokumentace.....	58
9.2	Výkresová dokumentace .....	58
9.3	Příložený disk.....	59

## Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotky
$B$	Vzdálenost mezi válečky	$[mm]$
$F_g$	Síla gravitační	$[N]$
$F_m$	Montážní síla	$[N]$
$F_p$	Síla na ozubeném hřebeni	$[N]$
$F_{rk}$	Reakční síla v jednom válečku	$[N]$
$F_{t1}$	Odporová síla při válení	$[N]$
$J_J$	Moment setrvačnosti jezdce	$[kg \cdot m^2]$
$J_M$	Moment setrvačnosti motoru	$[kg \cdot m^2]$
$J_{Mred.J}$	Redukovaný moment setrvačnosti jezdce	$[kg \cdot m^2]$
$J_{Mred.R}$	Redukovaný moment setrvačnosti rotačních částí	$[kg \cdot m^2]$
$J_P$	Moment setrvačnosti pastorku	$[kg \cdot m^2]$
$J_{PŘ}$	Moment setrvačnosti převodovky	$[kg \cdot m^2]$
$M_{DJ}$	Dynamický moment jezdce	$[N \cdot m]$
$M_{DR}$	Dynamický moment rotačních částí	$[N \cdot m]$
$M_M$	Moment motoru	$[N \cdot m]$
$M_{Nom}$	Nominální moment	$[N \cdot m]$
$M_Z$	Moment zátěže hnaného stroje	$[N \cdot m]$
$P$	Výkon motoru	$[W]$
$P_{min}$	Minimální výkon	$[W]$
$R$	Reakce v podporách	$[N]$
$S_b$	Dráha brzdění	$[m]$
$S_r$	Dráha rozběhu	$[m]$
$S_u$	Dráha ustáleného chodu	$[m]$
$a_j$	Zrychlení jezdce	$[m \cdot s^{-2}]$
$d$	Průměr roztečné kružnice pastorku	$[mm]$
$g$	Gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
$i$	Převodový poměr	$[-]$
$k_1$	Bezpečnostní koeficient	$[-]$
$l$	Délka dopravníku	$[mm]$
$m_C$	Celková hmotnost pohyblivé části	$[kg]$
$m_J$	Hmotnost jezdce	$[kg]$

Značka	Význam	Jednotky
$m_M$	Hmotnost motoru	[kg]
$m_n$	Modul ozubení	[kg]
$m_O$	Hmotnost objektu montáže	[kg]
$m_P$	Hmotnost pastorku	[kg]
$m_{PŘ}$	Hmotnost převodovky	[kg]
$p$	Počet zalců	[-]
$q$	Váha významnosti	[-]
$n_M$	Otáčky motoru	[ $ot \cdot s^{-1}$ ]
$n_P$	Otáčky pastorku	[ $ot \cdot s^{-1}$ ]
$r$	Poloměr válečku	[mm]
$r_P$	Poloměr pastorku	[mm]
$r_1$	Roztečný poloměr pastorku	[mm]
$r_2$	Poloměr díry pro hřídel	[mm]
$t_b$	Čas brzdění	[s]
$t_r$	Čas rozběhu	[s]
$t_u$	Čas ustáleného chodu	[s]
$v_{max}$	Maximální rychlost	[ $m \cdot s^{-1}$ ]
$\varepsilon_P$	Úhlové zrychlení pastorku	[ $rad \cdot s^{-2}$ ]
$\varepsilon_M$	Úhlové zrychlení motoru	[ $rad \cdot s^{-2}$ ]
$\zeta$	Rameno válivého odporu	[m]
$\eta_{Hřb.}$	Účinnost ozubeného hřebenu	[%]
$\eta_{PŘ}$	Účinnost převodovky	[%]
$\varphi_B$	Úhlová dráha brzdění	[rad]
$\varphi_P$	Úhlová dráha rozběhu	[rad]
$\omega_P$	Úhlová rychlost pastorku	[ $rad \cdot s^{-1}$ ]
$\omega_M$	Úhlová rychlost motoru	[ $rad \cdot s^{-1}$ ]



## Úvod

V současné době, kdy požadavky na kvalitu, spolehlivost a vysokou produktivitu práce jsou stále vyšší, vede mnoho firem k zavádění automatizovaných výrobních linek. Zavedením automatizace je zaručena stála kvalita, množství vyráběných kusů a zároveň se snižují náklady na výrobu.

Cílem bakalářské práce je navrhnout robotizované montážní pracoviště pro montáž objektu skládajícího se ze 4-6 komponentů pomocí průmyslových robotů ABB IRB 140 a Mitsubishi RV-2AJ. Pracoviště je umístěno do stávajícího pracoviště na centru robototechniky.

První část bakalářské práce je zaměřena na analýzu stávajících zařízení centra robototechniky. V úvodu jsou stanoveny požadavky kladené na montážní pracoviště. Ze zvolených požadavků jsou navrženy objekty montáže a vypracovány tři varianty montážních pracovišť. S hodnotové analýzy zjistíme optimální variantu pracoviště, která je v druhé části práce zpracována.

Druhá část práce se bude zabývat konstrukčním návrhem vybraného periferního zařízení optimální varianty. Práce je doložená výkresovou dokumentací, 3 D modelem pracoviště a periferního zařízení.

# 1 Analýza

## 1.1 Průmyslový robot ABB IRB 140

Popis:

Robot IRB 140 (obr.1-1) od společnosti ABB je kompaktní a výkonný šestiosý stroj s vysokou střední dobou bezporuchového provozu a malými nároky na údržbu. Patří mezi nejrychlejší roboty ve své třídě s vysokou opakovatelností polohy ( $\pm 0,03$  mm). Kombinace užitečného zatížení do 6 kg a dosahu 810 mm činí z tohoto robota nejlepší zařízení ve své třídě. Nabízejí se ve verzích Standart, Foundry Plus, Clean Room (třída 10) a omyvatelná verze Wash. Všechny ramena jsou kompletně v krytí IP 67. Standardní IRB 140 lze upevnit na podlahu, zeď nebo zavěsit v jakémkoliv úhlu, což umožňuje větší flexibilitu. Má jedinečný akční rádius díky mechanismu záklonu horního ramene.[8]



Obr. 1-1 - Průmyslový robot ABB IRB 140

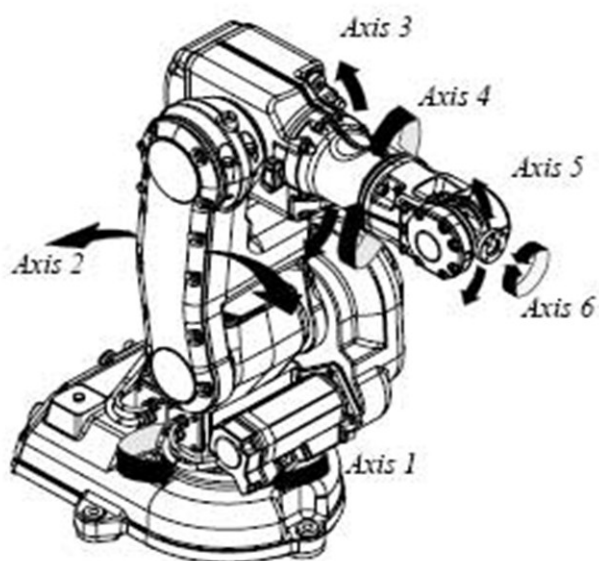
Základní parametry:

<b>Maximální nosnost</b>	6 kg
<b>Maximální dosah</b>	810 mm
<b>Hmotnost</b>	98 kg
<b>Počet stupňů volnosti</b>	6
<b>Pracovní teplota</b>	5 až 45 °C
<b>Rozměry základny</b>	400x450 mm
<b>Opakovatelná přesnost polohy</b>	$\pm 0,03$ mm
<b>Zdroj napětí</b>	200-600,50/60 V,Hz

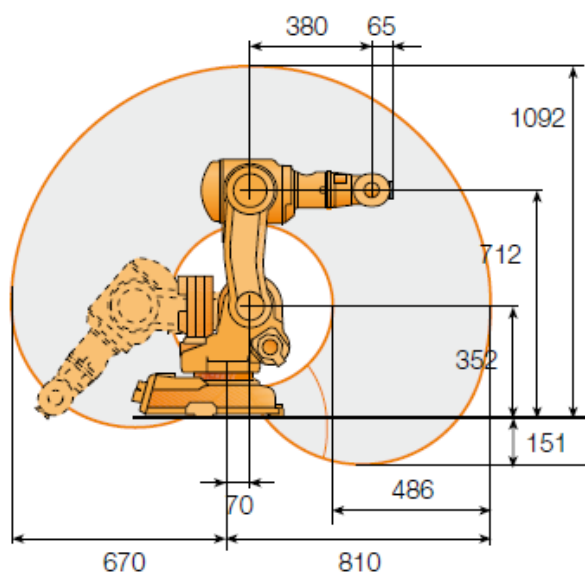
Tab. 1-1 - Hlavní parametry

Osa	Rozsah pohybu [°]	Maximální rychlost [°/s]
1 (axis 1)	360 ( -180 až + 180 )	200
2 (axis 2)	200 ( -90 až +110 )	200
3 (axis 3)	280 ( -230 až -50 )	260
4 (axis 4)	400	360
5 (axis 5)	240	360
6 (axis 6)	800	450

Tab. 1-2 - Rozsahy rychlosti a pohybu



Obr. 1-2 - Kinematická struktura



Obr. 1-3 - Základní rozměry pracovního prostoru

Použití:

- Montáž
- Obloukové svařování
- Tlakové lití
- Lepení
- Balení
- Manipulace s materiálem
- Obsluha strojů

## 1.2 Průmyslový robot Mitsubishi RV-2AJ

Popis:

RV-2AJ (obr.1-4) vyráběný společností Mitsubishi je lehký kompaktní průmyslový robot s vysokou přesností ( $\pm 0,02$  mm). Je nástupcem legendárního robotu RV-M1. Hmotnost robotu je pouhých 17 kg a lze ho upevnit na podlahu nebo zavěsit. Robot je řízen řídicím systémem CR2-571.

Štíhlá konstrukce umožňuje využití robotu ve stísněných prostorech, kdy se provádějí manipulační operace a umísťují se komponenty s hmotností do 2 kg.

Pohon střídavými servomotory s integrovanými číslíkovými snímači absolutní polohy je zárukou velké přesnosti a spolehlivého provozu při minimální údržbě. Použití snímačů absolutní polohy umožňuje robot vypnout, kdykoliv je třeba. Po opětovném zapnutí robot jednoduše pokračuje v činnosti z aktuální polohy, takže odpadají složité a zdlouhavé přejezdy do referenční polohy, vedoucí občas ke kolizím.



*Obr. 1-4 – Mitsubishi RV-2AJ*

Robot je vybaven potrubním rozvodem pro použití pneumatického chapadla včetně ventilů pro připojení. Může být také upraven pro použití elektrického chapadla.[9]

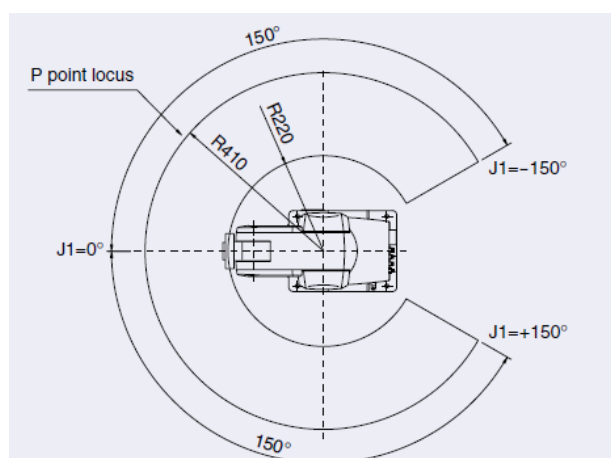
Základní parametry:

<b>Maximální nosnost</b>	2 kg
<b>Provozní teplota</b>	0 až 45°C
<b>Opakovatelnost polohy</b>	± 0,02 mm
<b>Hmotnost</b>	17 kg
<b>Rozměry základny</b>	250x186
<b>Spotřeba energie</b>	0,2 kW

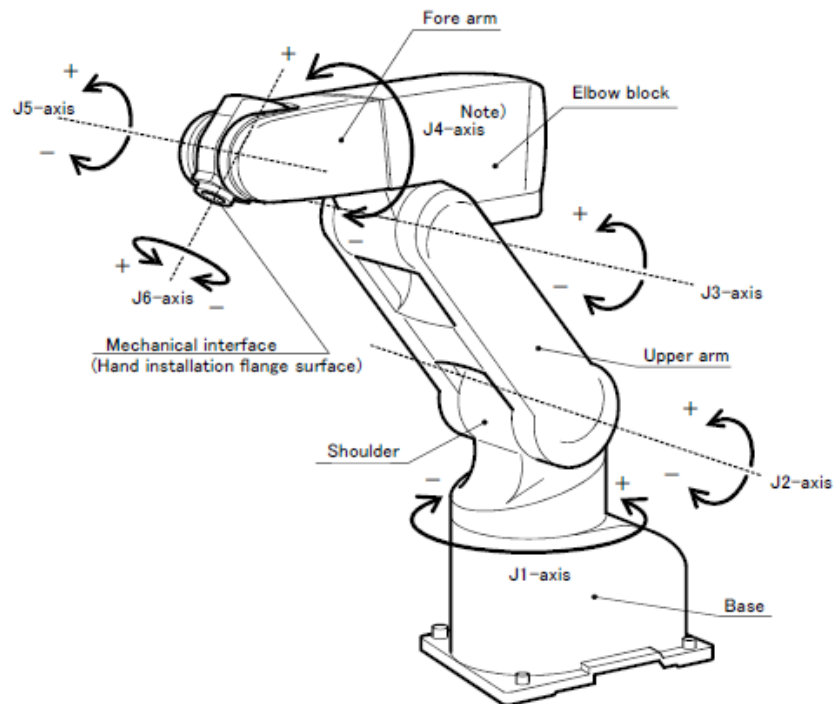
Tab. 1-3 - Hlavní parametry

Osa	Rozsah pohybu [°]	Maximální rychlost[°/s]
<b>J1</b>	300 ( -150 až +150 )	180
<b>J2</b>	180 ( -60 až +120 )	90
<b>J3</b>	230 ( -110 až +120 )	135
<b>J4</b>	-	-
<b>J5</b>	180 ( -90 až +90 )	180
<b>J6</b>	400 ( - 200 až +200 )	210

Tab. 1-4 - Rozsahy rychlosti a pohybu



Obr. 1-5 - Základní rozměry pracovního prostoru



Obr. 1-6 - Kinematické schéma

Použití:

- Balení
- Lepení
- Manipulace s materiálem
- Potravinářský průmysl

### 1.3 Polohovací zařízení OJ-10P

Popis:

Polohovací robot OJ-10P je určený pro nastavení svarku do optimální polohy při svařování. Je speciálně konstruovaný jako modulární pracoviště pro použití v robotizaci a jinde, kde je možné využít jeho maximální nosnost 250 kg.[10]



*Obr. 1-7 - Polohovací robot OJ-10P*

Základní parametry:

<b>Maximální nosnost</b>	250 kg
<b>Max.moment setrvačnosti zařízení</b>	$16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
<b>Hmotnost</b>	340 kg
<b>Krytí</b>	IP 43
<b>Provozní teplota</b>	5 až 50°C
<b>Instalovaný výkon motoru</b>	1,5 kW
<b>Nepřesnost polohování</b>	$\pm 0,1 \text{ mm}$

*Tab. 1-5 - Hlavní parametry*

<b>Rotace ramene</b>	270° ( -90° až + 180°)
<b>Rotace upínací desky</b>	560°
<b>Maximální rychlost obou os</b>	1,04 rad/s

*Tab. 1-6 - Rozsahy rychlosti a pohybu*

## 1.4 Řídicí systém ABB IRC5

Popis:

Řídicí systém IRC5 je již pátou generací řídicích systémů společnosti ABB. Nová ergonomicky navržená ovládací jednotka FlexPendant s dotykovým displejem, pracující pod operačním systémem Windows CE.NET plně ovládá několik (až čtyř) robotů prostřednictvím funkce MultiMove. IRC5 je uživatelsky orientovaný systém s velmi jednoduchým plánováním úloh, snadným nastavením provozních parametrů, spolehlivým provozem a možností obsluhovat jednoduché i několikačetné robotické buňky.

Modularita IRC5 představuje velký pokrok v řízení robotů. Funkce řídicího systému (pohony os, vlastní řízení apod.) jsou fyzicky rozděleny do jednotlivých modulů. Každý modul může být uložen ve svém vlastním rozvaděči a tyto rozvaděče mohou být poskládány na sebe nebo mohou být rozmístěny libovolně podle potřeb uživatele. Mezi moduly je minimální závislost. Každý modul má své vlastní napájení, diagnostiku a standardní ethernetové komunikace. Vzdálenost modulů od sebe může být až 75 m.

Při návrhu řídicího systému IRC5 byla využita odbornost společnosti ABB získaná během více než třiceti let vývoje a instalování více než 100 000 robotů. IRC5 představuje největší pokrok společnosti ABB v technice ovládání robotů.[11]



Základní parametry:

Obr. 1-8 - Řídicí systém ABB IRC5

<b>Rozměry</b>	770x725x710 mm
<b>Hmotnost</b>	130 kg
<b>Zdroj napětí</b>	200-600 , 50/60 V, Hz



## 2 Návrh jednotlivých pracovišť

Tato kapitola se bude zabývat návrhy jednotlivých variant pracovišť podle požadavkového listu.

### 2.1 Požadavkový list

Požadavek	Popis
Druh pracovní činnosti	Montáž
Typ průmyslového robotu	ABB IRB 140, Mitsubishi RV-2AJ
Počet použitých robotu	2 až 3
Objekt manipulace	Jednoduché tvary, hmotnost
Efektor	Mechanický, pneumatický
Pracovní plocha	Do 20 m <sup>2</sup>
Zásobník	S orientovaným uložením součástí
Materiál	Ocel, plast,....

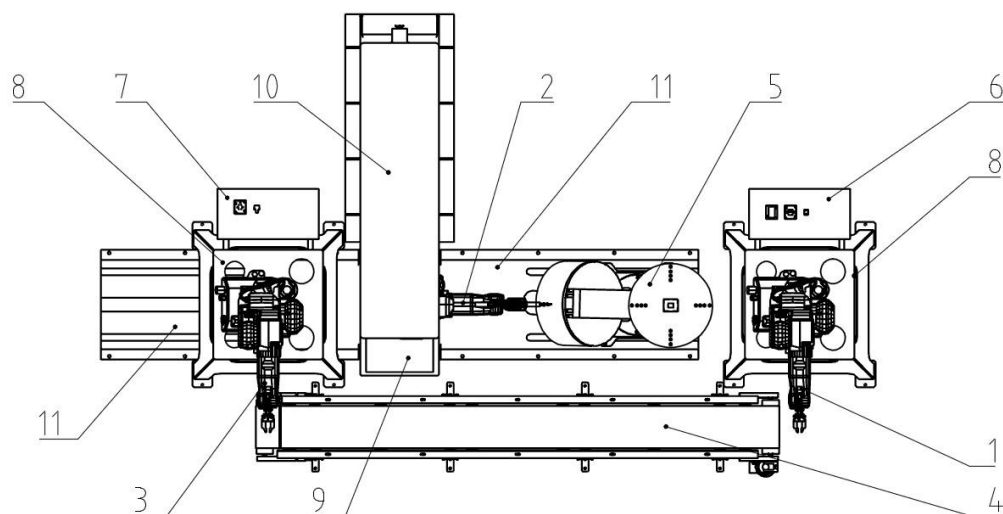
Tab. 2-1 - Požadavky na pracoviště

### 2.2 Varianta A

Popis varianty A:

Varianta pracoviště popisuje kompletní montáž vypínače za použití tří robotů ABB IRB 140. Průmyslový robot ABB IRB 140 - „A“ (poz.1) ustavený na podstavci (poz.8) odebírá tlačítko ze zásobníku (poz.6) a vkládá ho do montážního přípravku umístěném na polohovadle OJ-10P (poz.5.). V následujícím kroku odebírá horní kryt a vkládá ho na tlačítko. Tentýž robot odebere ze zásobníku gumové těsnění a vkládá ho na horní díl, poté celý složený komponent vyjme, otočí a uloží na dopravník (poz.4), který přesune komponent před robot „B“. Průmyslový robot ABB IRB 140 - „B“ (poz.3) současně s robotem „A“ skládá druhý komponent. Robot „B“ odebírá spodní díl ze zásobníku (poz.7) a vkládá ho do přípravku na pracovním stole (poz.9). Následně odebírá spínač a vkládá ho na spodní díl. Robot odebere složený komponent z dopravníku a uloží ho na druhý montovaný komponent. Průmyslový robot ABB IRB 140 - „C“ (poz.2) opatřen efektem pro šroubování přišroubuje oba komponenty

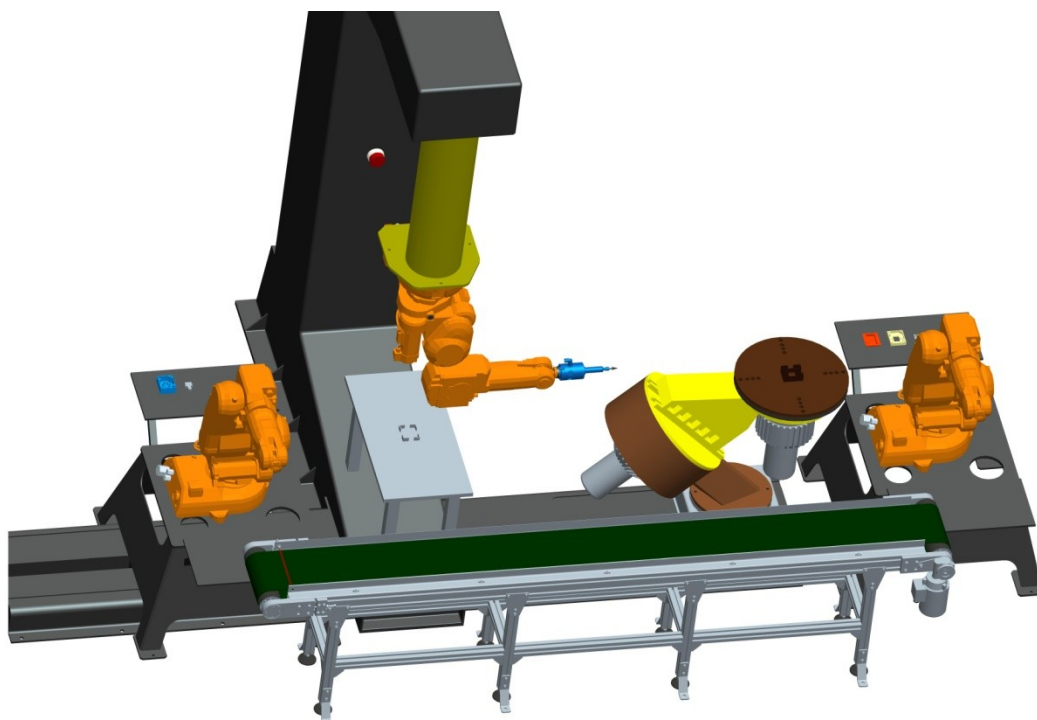
k sobě. Průmyslové roboty ABB IRB 140 jsou řízeny řídicím systémem IRC 5. Všechny součásti v zásobnících mají přesně definovanou polohu.



*Obr. 2-1 - Schéma pracoviště varianty A*

Legenda:

1. Průmyslový robot ABB IRB 140 - „A“
2. Průmyslový robot ABB IRB 140 - „C“
3. Průmyslový robot ABB IRB 140 - „B“
4. Pásový dopravník
5. Polohovací zařízení OJ-10P
6. Zásobník
7. Zásobník
8. Podstava ABB IRB 140
9. Pracovní stůl
10. Konzola stojanu
11. Vedení polohovadla



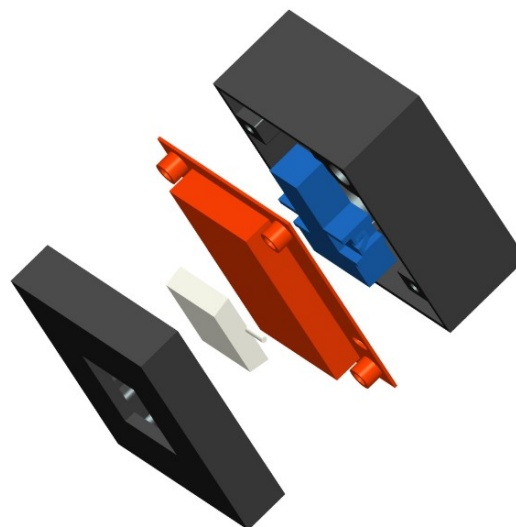
*Obr. 2-2 - 3D model varianty A*

Objekt montáže:

Objektem montáže pro laboratorní účely je vypínač.

Popis:

- Počet komponentu: 5
- Hmotnost: 50 g
- Rozměry(DxŠxV): 80x68x50 mm
- Materiál: plast

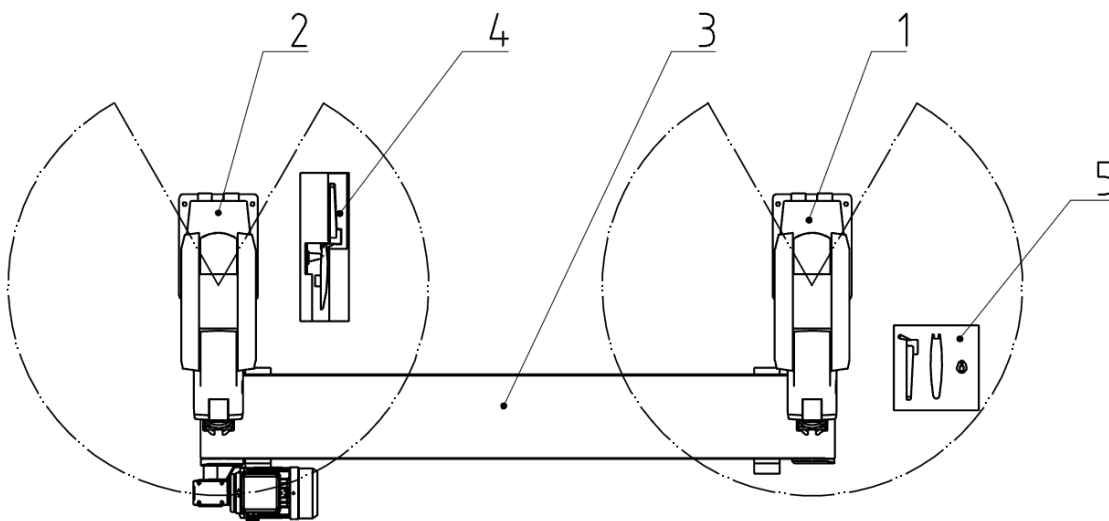


*Obr. 2-3 - 3D model rozloženého vypínače*

### 2.3 Varianta B

Popis varianty B:

Tato varianta pracoviště popisuje kompletní montáž ručního lisu na česnek za použití dvou robotů Mitsubishi RV-2AJ. Průmyslový robot Mitsubishi RV-2AJ - „A“ (poz.1) odebere ze zásobníku (poz.5) spodní díl a vloží ho na pásový dopravník (poz.3), který přesune komponent do výchozí polohy k odběru před robot „B“ (poz.2). Robot „B“ odebere z dopravníku spodní díl a vloží ho do přípravku (poz.4). Celý cyklus se opakuje pro zbylé komponenty tj. horní díl a tlačník. V posledním kroku vloží robot „A“ dva plastové čepy na dopravník, který je dopraví před robot „B“. Ten je odebere a vloží do otvoru v komponentech a tím je spojí pevně dohromady. Všechny komponenty v zásobníku mají přesně nadefinovanou polohu.



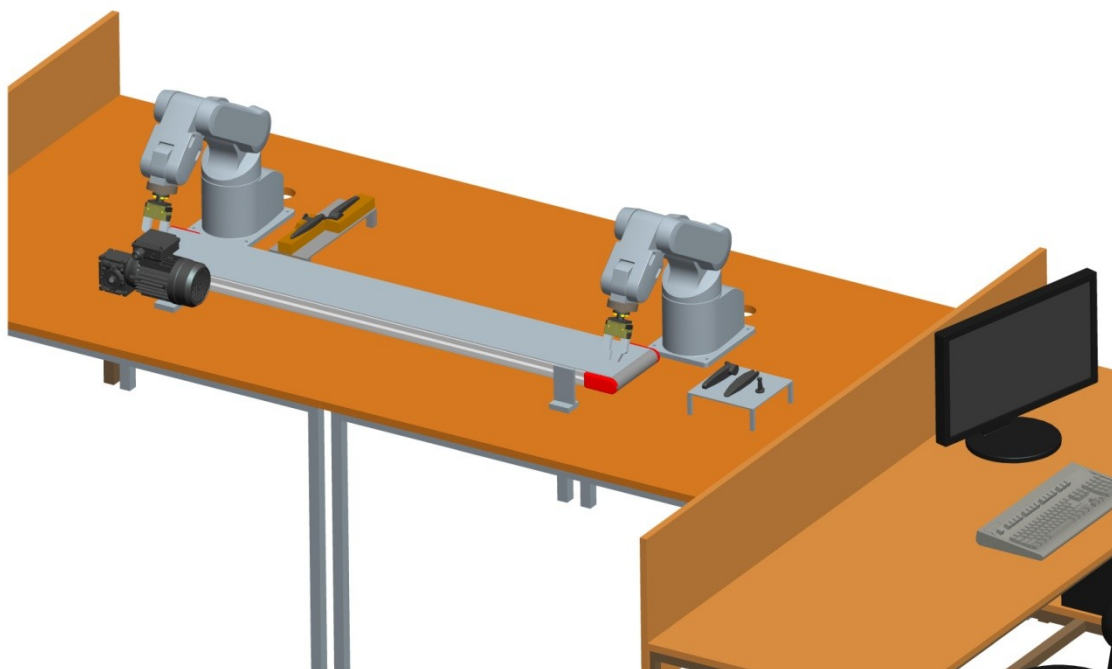
Obr. 2-4 - Schéma pracoviště varianty B

Legenda:

1. Průmyslový robot Mitsubishi RV-2AJ - „A“
2. Průmyslový robot Mitsubishi RV-2AJ - „B“
3. Pásový dopravník

4. Přípravek

5. Zásobník



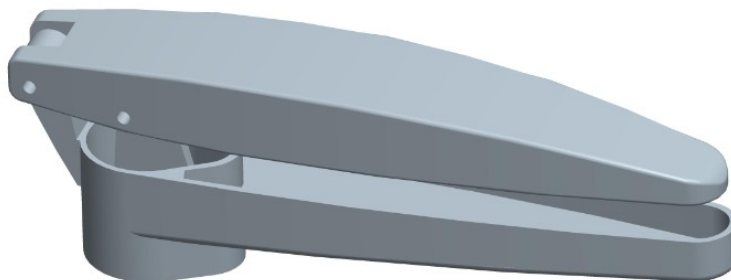
*Obr. 2-5 - 3D model pracoviště varianty B*

Objekt montáže:

Objektem montáže je ruční lis na česnek Tescoma President.

Popis:

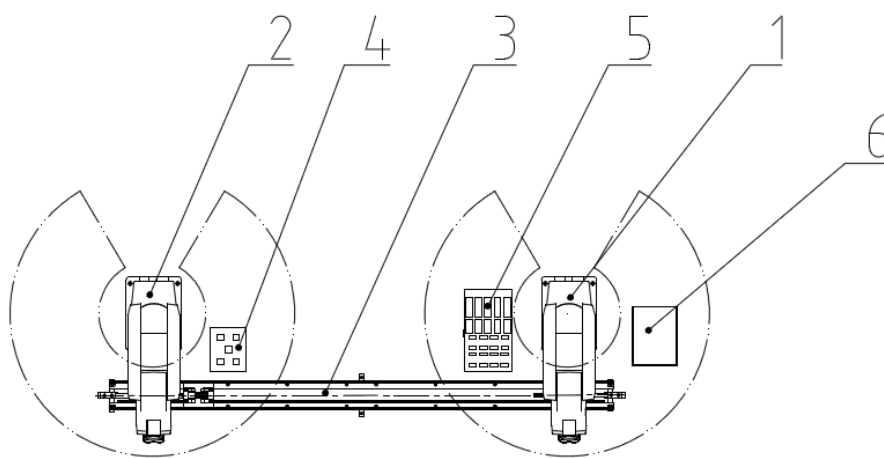
- Počet komponentů: 5
- Hmotnost: 210 g
- Materiál: Nerezová ocel



## 2.4 Varianta C

Popis varianty C:

Tato varianta pracoviště popisuje kompletní montáž autíčka ze stavebnice Cheva, za použití dvou robotu Mitsubishi RV-2AJ a dopravníku. Průmyslový robot Mitsubishi RV-2AJ - „A“ (poz.1) odebírá ze zásobníku (poz.5) první díl a vkládá ho na dopravník (poz.3), na němž se nachází přípravek. Tento cyklus se opakuje pro díl druhý, třetí a čtvrtý. Když je vložen čtvrtý díl, dopravník se posune před robot Mitsubishi RV-2AJ - „B“ (poz.2), který vloží poslední díl vyjmutý ze zásobníku (poz.4), tedy pátý. V posledním kroku se dopravník přesune před robot „A“, který vyjme montovaný komponent a vloží ho do technologické palety. Všechny komponenty mají přesně nadefinovanou polohu.



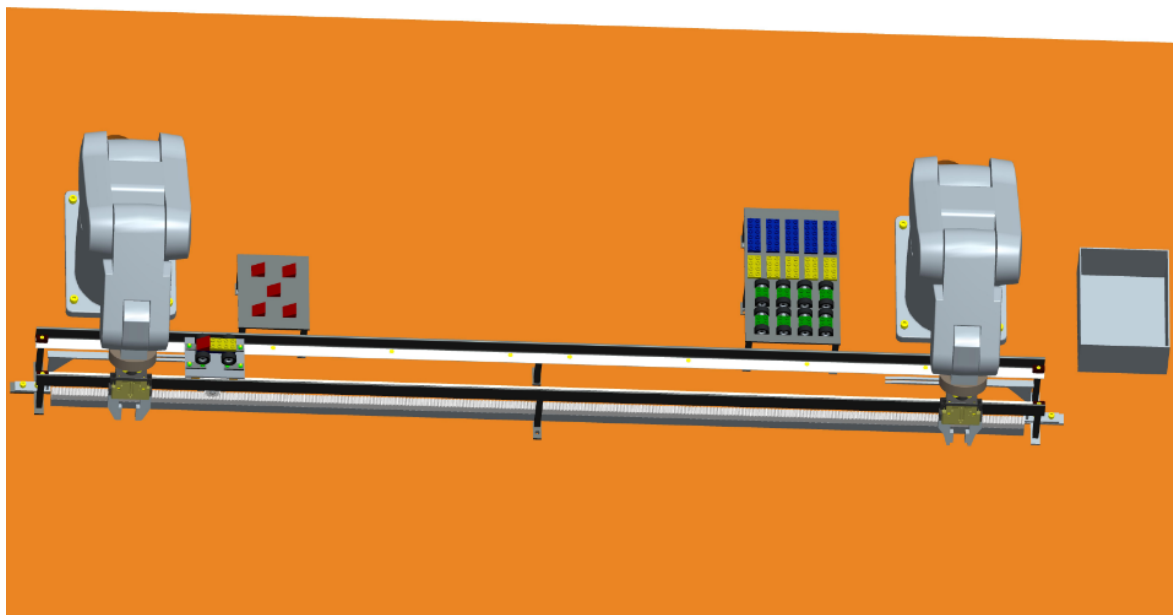
Obr. 2-7 – Schéma pracoviště varianty C

Legenda:

1. Průmyslový robot Mitsubishi RV-2AJ - „A“
2. Průmyslový robot Mitsubishi RV-2AJ - „B“
3. Dopravník
4. Zásobovací paleta 1

5. Zásobovací paleta 2

6. Odkládací box



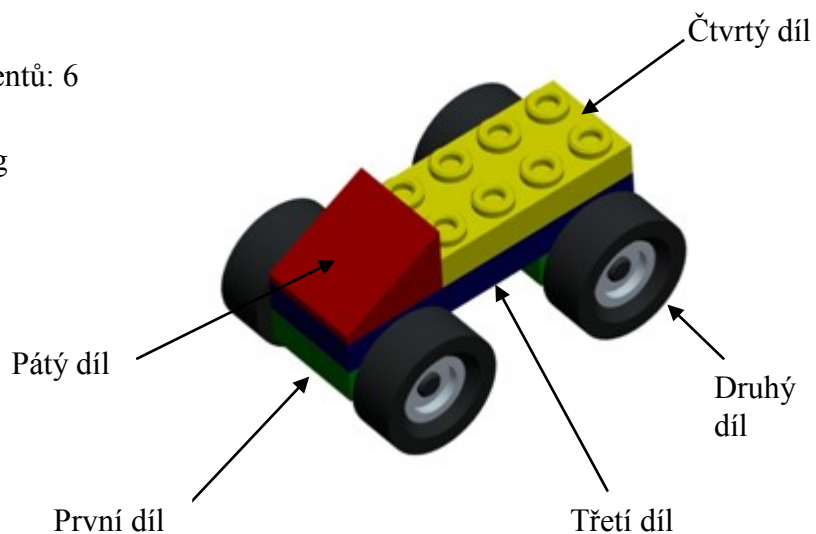
*Obr. 2-8 - 3D model pracoviště varianty C*

Objekt montáže:

Objektem montáže poslední varianty je autíčko ze stavebnice Cheva (obr.2-9).

Popis:

- počet komponentů: 6
- Hmotnost: 25 g
- Materiál: plast



*Obr. 2-9 – 3D model autíčka z Chevy*

### 3 Výběr optimální varianty

V této kapitole bude vybrána optimální varianta pomocí hodnotové analýzy.[6]

#### 3.1 Bodovací stupnice

Pro hodnocení variant v jednotlivých kritériích je použita šestibodová stupnice.

Úroveň	Hodnota
Vysoká	5
Dobrá	4
Průměrná	3
podprůměrná	2
Nízká úroveň	1
Nevyhovující úroveň	0

Tab. 3-1 - Bodová stupnice kritérií

#### 3.2 Kritéria hodnocení

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Počet robotů	Počet použitých robotů
K2	Počet periferních zařízení	Počet použitých periferních zařízení
K3	Počet komponentu	Množství komponentu
K4	Složitost objektu montáže	Počet kroků k úplné montáži
K5	Zastavěná plocha	Prostorová náročnost
K6	Náklady	Předběžné náklady na vybavení

Tab. 3-2 - Hodnotící kritéria



### 3.3 Hodnocení jednotlivých kritérií

K1 –počet robotů		
Varianta	Počet použitých robotů	Počet bodů
A	3x ABB	3
B	2 x Mitsubishi	5
C	2x Mitsubishi	5
K2 - Počet periferních zařízení		
Varianta	Počet použitých periferních zařízení	Počet bodů
A	1x OJ-10P,1x pásový dopravník	2
B	1x pásový dopravník	4
C	1x dopravník s přípravkem	4
K3 – Počet komponentů		
Varianta	Množství komponentů	Počet bodů
A	6	5
B	5	4
C	5	4
K4 - Složitost objektu montáže		
Varianta	Počet kroků k úplné montáži	Počet bodů
A	18	2
B	18	2
C	25	1
K5 - Zastavěná plocha		
Varianta	Prostorová náročnost	Počet bodů
A	5,8 m <sup>2</sup>	3
B	1,2 m <sup>2</sup>	5
C	1 m <sup>2</sup>	5
K6 - Náklady		
Varianta	Předběžné náklady na vybavení	Počet bodů
A	Vyšší náklady	2
B	Nízké náklady	4
C	Nízké náklady	5

Tab. 3-3 - Hodnocení jednotlivých kritérií

### 3.4 Určení významnosti kritérií

K určení významnosti kritéria je použita metoda trojúhelníku párů.

Vypracoval: Tomáš Chlopčík						
Porovnávané části kritérií					Počet voleb	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	4,5	1.-2.
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	3	3.
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	1,5	4.
		K4	K5	K6		
			K4	K4	0,5	6.
			K5	K6		
				K5	1	5.
				K6	4,5	1.- 2.

Tab. 3-4 - Metoda trojúhelníku párů vypracována autorem

Vypracoval: Tomáš Hruška						
Porovnávané části kritérií					Počet voleb	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	4,5	1.-2.
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	2,5	3.
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	0,5	6.
		K4	K5	K6		
			K4	K4	1	5.
			K5	K6		
				K5	2	4.
				K6	4,5	1.-2.

Tab. 3-5 - Metoda trojúhelníku párů vypracována osloveným expertem

### 3.5 Určení váhy významnosti

Váha významnosti je vypočtena podle vzorce:

$$q = \frac{\sum (v_1)_i}{p} = \frac{9}{2} = 4,5$$

Kde:

$p$  – počet znalců

$(v_1)_i$  – součet voleb K1 jednotlivými znalci

Kritérium	Váha významnosti q
K1	4,5
K2	2,75
K3	1
K4	0,75
K5	1,5
K6	4,5

Tab. 3-6 – Váhy významnosti

Váha významnosti je v tomto příkladu vypočtena pro kritérium K1 a stejným způsobem se určí zbylá kritéria.

### 3.6 Hodnocení jednotlivých variant

Varianta A			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	3	4,5	13,5
K2	2	2,75	5,5
K3	5	1	5
K4	2	0,75	1,5
K5	3	1,5	4,5
K6	2	4,5	9
Celkový součet indexů varianty A			39

Tab. 3-7 - Zhodnocení varianty A

Varianta B			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	5	4,5	22,5
K2	4	2,75	11
K3	4	1	4
K4	4	0,75	3
K5	5	1,5	7,5
K6	4	4,5	18
<b>Celkový součet indexů varianty B</b>			<b>66</b>

Tab. 3-8 - Zhodnocení varianty B

Varianta C			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	5	4,5	22,5
K2	4	2,75	11
K3	4	1	4
K4	1	0,75	0,75
K5	5	1,5	7,5
K6	5	4,5	22,5
<b>Celkový součet indexů varianty C</b>			<b>68,25</b>

Tab. 3-9 - Zhodnocení varianty C

### 3.7 Vyhodnocení a určení optimální varianty

Optimální variantou, která získala největší celkový součet vážených indexů je varianta C.

## 4 Vypracování optimální varianty

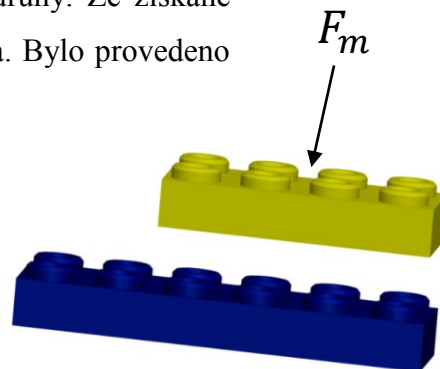
Tato část práce se zabývá konstrukčním návrhem vybraného periferního zařízení - dopravníku. Jednotlivé části dopravníku jsou popsány v následujících kapitolách. Dále bude provedena časová studie a technicko-ekonomické zhodnocení.

Objektem montáže navrženého RTP je stavebnice Cheva. Z této stavebnice je pomocí dvou robotů Mitsubishi sestaveno autíčko čítající pět komponentů.

Optimální varianta RTP je navržena pro stávající pracoviště umístěné na centru robototechniky. V optimální variantě je využito stávajícího rozmístění robotu Mitsubishi RV-2AJ. Mezi tyto roboty je umístěno periferní zařízení (dopravník), které je v této části práce navrženo. Po dopravníku se pohybuje vozík, na kterém je umístěn montážní přípravek. Komponenty uložené v zásobovacích paletách jsou postupně odebírány roboty v daném montážním pořadí a ukládány na montážní přípravek. Složená autíčka jsou odebrána a uložena do odkládacího boxu. K úchopu komponentů slouží pneumatické efektory upevněny na robotech. Podrobný popis montáže je uveden v kapitole 2.4.

### 4.1 Síla potřebná ke spojení dvou komponentů

Tato síla je určena experimentálně. Na kuchyňskou digitální váhu je položen první komponent a následně je přitlačen komponent druhý. Ze získané hmotnosti zobrazené na displeji je vypočtena síla. Bylo provedeno 10 měření a následně se vypočetla průměrná síla potřebná ke spojení. Tabulka naměřených hodnot je uvedena v příloze A. Výsledná montážní síla  $F_m = 15 \text{ N}$

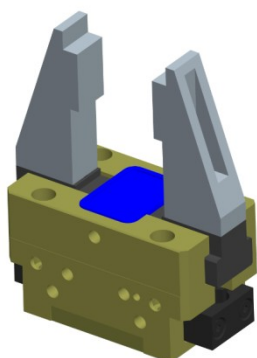


Obr. 4-1 - Montážní síla

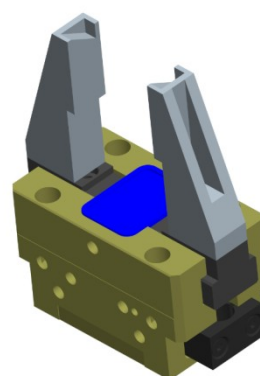
### 4.2 Volba efektoru

Roboty Mitsubishi jsou opatřeny efektory PGF 80-AS od firmy Schunk, které jsou dostupné na UCR. Úchopové prvky mají upravené dotykové plochy odpovídající tvarům komponentů a jsou vyrobeny pomocí 3D tisku. Tvar dotykových ploch

efektoru B (obr.4-3) odpovídá tvaru trojúhelníkového komponentu. Dotykové plochy efektoru A (obr.4-2) odpovídají tvaru obdélníkového komponentu. Efektor A je umístěn na robot „A“ a efektor B je umístěn na robot „B“ (viz.obr.2-7).



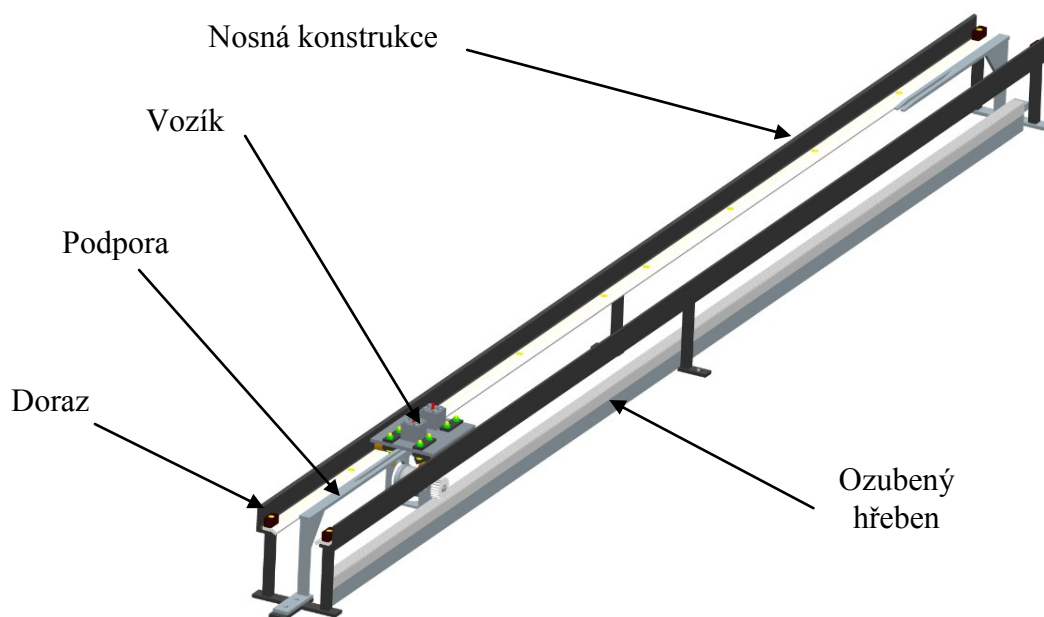
*Obr. 4-2 - Efektor A*



*Obr. 4-3 - Efektor B*

### 4.3 Dopravník

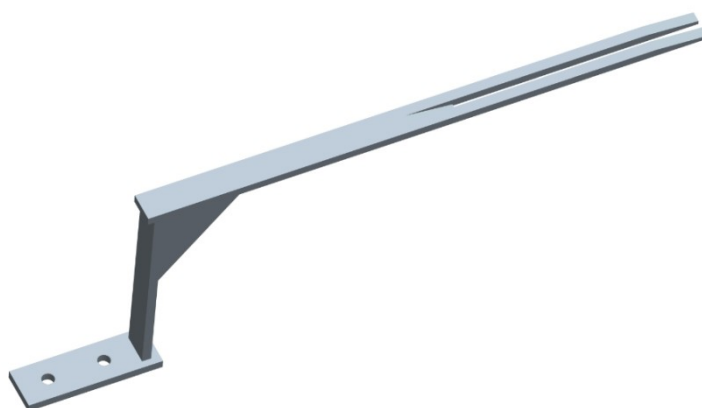
Dopravník je periferní zařízení sloužící k montážní operaci. Délka dopravníku je 1700 mm a šířka 100 mm. Skládá se z nosné konstrukce, vozíku, ozubeného hřebenu, podpory a dorazů.



*Obr. 4-4 - Dopravník*

#### 4.4 Podpora

Podpora slouží k zachycení sil vyvolaných při montáži, kdy robot musí vyvinout montážní sílu ke spojení dvou komponentů. Podpora je tvořena ocelovými plechy, které jsou svařeny. Nachází se na obou koncích dopravníku, kde je uchycena pomocí dvou šroubů k nosné konstrukci. Podpora slouží nejen k zachycení sil při montáži ale i k vyjmutí kompletně složeného autíčka. Více o vyjmutí v samostatné kapitole **4.6**.

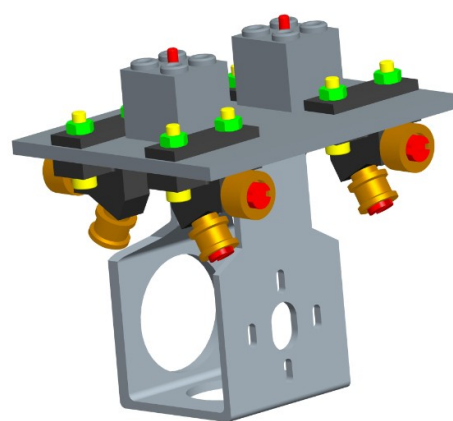


*Obr. 4-5 - Podpora*

#### 4.5 Vozík

Vozík je část dopravníku pohybující se po nosné konstrukci mezi roboty Mitsubishi RV-2AJ. Lineární pohyb vozíku zajišťuje motor s převodovkou umístěné na vozíku přes převod pastorek-ozubený hřeben.

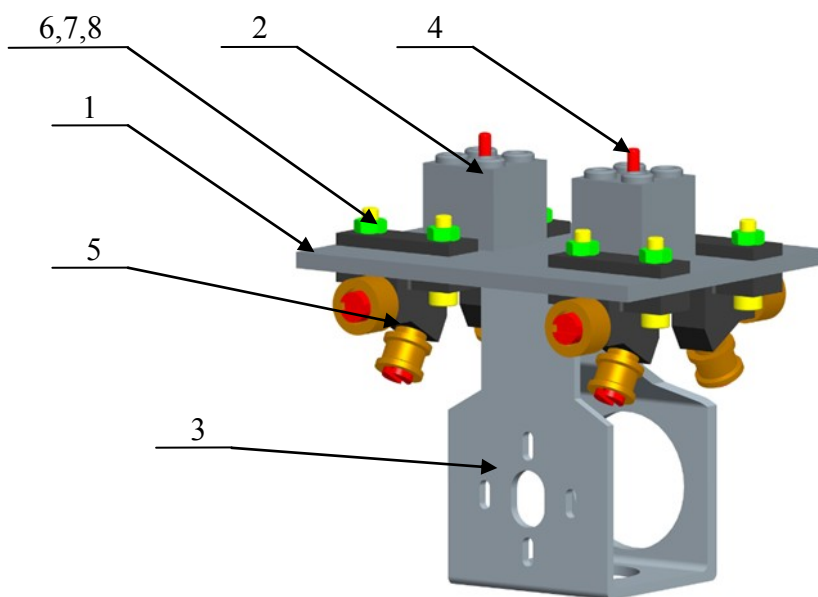
Nosnou konstrukci vozíku tvoří základová deska a upevnění pohonu. Na horní straně



*Obr. 4-6 - Jezdec*

desky je umístěn přípravek vyrobený pomocí 3D tisku. Ve spodní části jezdce je pohyblivě upevněn pohon s převodovkou a pastorkem. Pohyblivé uložení zajišťuje přesný geometrický dotyk zubů pastorku s ozubeným hřebenem. Nylonové válečky slouží k vedení jezdce a jsou pohyblivě uloženy. Pohyblivé uložení umožňuje přesný dotyk excentricky uložených válečků s

vodícím profilem upevněným na nosné konstrukci. Excentricky uložené válečky vymezují boční vůli.

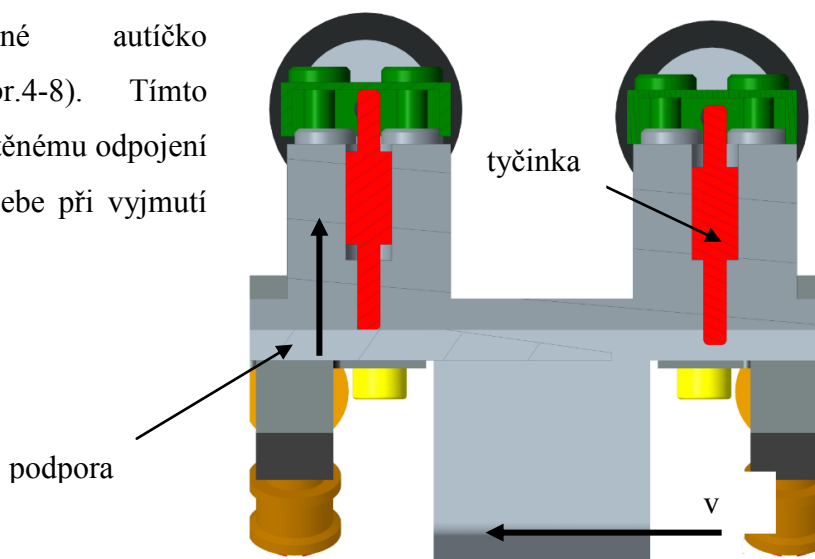


*Obr. 4-7 - Popis jednotlivých částí vozíku*

1 – základová deska, 2 – přípravek, 3 – upevnění pohonu, 4 – tyčinka, 5 – uložení válečku, 6 – šroub, 7 – podložka, 8 - matice

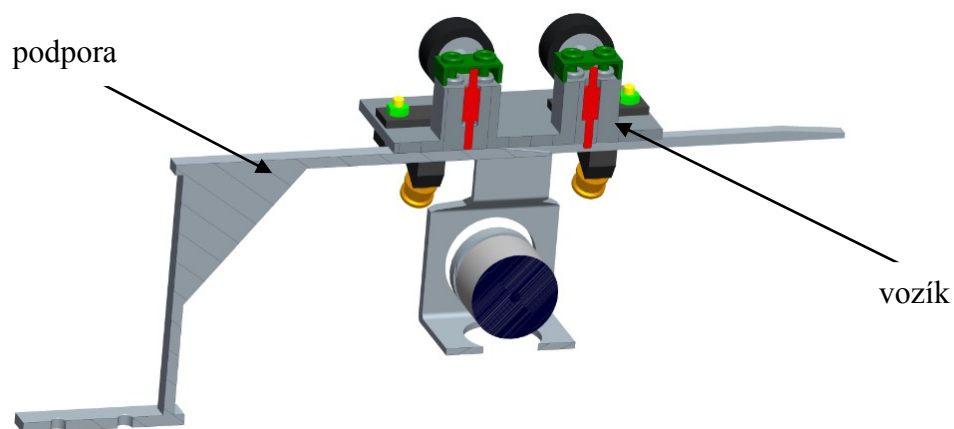
#### 4.6 Vyjmutí složeného autíčka

Pro odebrání kompletně složeného autíčka musí vozík zajet do výchozí polohy pro odebrání. Při najíždění do této polohy vozík najede na podporu a tyčinka uvnitř přípravku se začne zvedat a uvolní složené autíčko z přípravku (obr.4-8). Tímto nedojde k nechtěnému odpojení komponentů od sebe při vyjmutí z přípravku.



*Obr. 4-8 - Uvolnění komponentu s přípravku*





Obr. 4-9 - Najetí vozíku do výchozí polohy

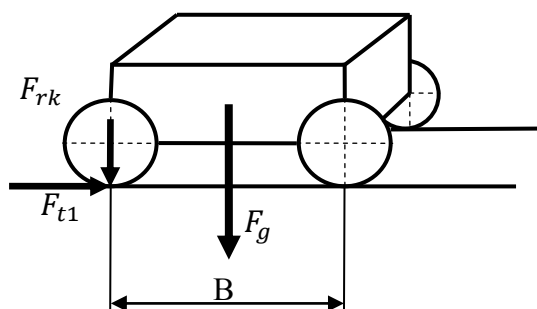
## 4.7 Výpočet potřebného výkonu motoru

### 4.7.1 Předběžný výpočet výkonu motoru

V této podkapitole je vypočtený předběžný výkon motoru potřebný k určení typu motoru a převodovky. Ve výpočtu nebudou zahrnuty momenty setrvačnosti motoru, převodovky, pastorku a jejich hmotnosti.

Vstupní parametry:

- Maximální rychlost jezdce  $v_{max} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Hmotnost vozíku  $m_v = 0,345 \text{ kg}$
- Hmotnost objektu montáže  $m_o = 0,025 \text{ kg}$
- Počet pojezdových kol 4
- Vzdálenost mezi válečky  $B = 64 \text{ mm}$



Obr. 4-10 - Rozbor sil

Síla nahrazující tíhu pohybové části

$$F_g = (m_v + m_o) \cdot g = (0,345 + 0,025) \cdot 9,81 = 3,629 \text{ N} \quad (4.01)$$

Reakční síla působící v jednom kole

$$F_{rk} = \frac{F_g}{4} = \frac{3,629}{4} = 0,907 \text{ N} \quad (4.02)$$

Odporová síla při válení v jednom kole

$$F_{t1} = \zeta \cdot \frac{F_{rk}}{r} = 0,0077 \cdot \frac{0,907}{0,007} = 0,997 \text{ N} \quad (4.03)$$

$\zeta$ - rameno válivého odporu = 0,0077 m [12]

$r$ - poloměr válečku = 0,007 m

Výpočet potřebné síly  $F_p$  na ozubeném hřebeni

- účinnost převodu pro ozubený hřeben  $\eta_{hřb.} = 0,92$

$$F_p = \frac{4 \cdot F_{t1}}{\eta_{hřb.}} = \frac{4 \cdot 0,997}{0,92} = 4,337 \text{ N} \quad (4.04)$$

Výpočet minimálního potřebného výkonu

Jelikož ve výpočtu nejsou zahrnuty účinnosti motoru, převodovky a hmoty rotujících částí, je nutné výsledný výkon vynásobit bezpečnostním koeficientem  $k_1 = 2,5$

$$P_{min} = F_p \cdot v_{max} \cdot k_1 \quad (4.05)$$

$$P_{min} = 4,337 \cdot 0,3 \cdot 2,5 = 3,252 \text{ W}$$

#### 4.7.2 Volba motoru a převodovky

Dle vypočteného předběžného výkonu je zvolen motor a převodovka od společnosti Maxon motor s.r.o.. Převodovka a motor se dodává spojená v jeden celek. Motor je vybrán s nejbližším vyšším výkonem.

Volený motor:

Maxon EC 20Flat [13]

- tento model obsahuje integrované řízení

Výkon	5 W
Otáčky	$3000 \text{ min}^{-1}$
Účinnost	42 %
Hmotnost	36 g
Délka	22,1 mm



Obr. 4-11 - Maxon EC 20Flat

Tab. 4-1 – Parametry motoru

Volená převodovka:

Maxon GS 20 A [14]

Převodový poměr	88:1
Účinnost	75 %
Hmotnost	14,3 g
Délka	21,6 mm

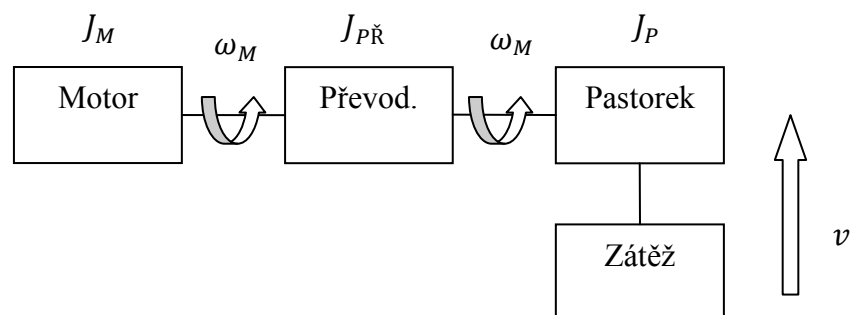


Obr. 4-12 - Převodovka Maxon GS 20 A

Tab. 4-2 – Parametry převodovky

#### 4.7.3 Kontrolní výpočet výkonu motoru

V kontrolním výpočtu jsou již zahrnuty momenty setrvačnosti motoru, převodovky, pastorku a jejich hmotnosti. Rotační pohyb hřídele motoru je transformován pomocí pastorku a ozubeného hřebene na lineární pohyb zátěže. Zátěž zde představuje, hmotnost vozíku, motoru, převodovky, pastorku a objektu manipulace.[2]



Obr. 4-13 - Kinematické schéma

Vstupní parametry:

- Maximální rychlost vozíku  $v_{max} = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Hmotnost vozíku  $m_V = 0,345 \text{ kg}$
- Hmotnost objektu montáže  $m_O = 0,025 \text{ kg}$
- Hmotnost motoru  $m_M = 0,036 \text{ kg}$
- Hmotnost převodovky  $m_{PŘ} = 0,014 \text{ kg}$
- Moment setrvačnosti motoru  $J_M = 5,1 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- Moment setrvačnosti převodovky  $J_{PŘ} = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Průměr roztečné kružnice pastorku

- pro kontrolu výkonu motoru je nutné navrhnout základní parametry pastorku

- Počet zubů pastorku  $z_1 = 50$
- Modul ozubení  $m_n = 0,5 \text{ mm}$

$$d = z_1 \cdot m_n = 50 \cdot 0,5 = 0,025 \text{ m} \quad (4.06)$$

Hmotnost pastorku

- údaj získaný z ProEngineeru

$$m_P = 0,022 \text{ kg}$$

Moment setrvačnosti pastorku

- výpočet momentu setrvačnosti je značně zjednodušen, kde  $r_2$  je roztečný poloměr a  $r_1$  je poloměr díry pro hřídel

$$J_P = \frac{1}{2} \cdot m_P \cdot (r_2^2 + r_1^2) \quad (4.07)$$

$$J_P = \frac{1}{2} \cdot 0,022 \cdot (0,012^2 + 0,002^2) = 1,628 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

### Úhlová rychlost pastorku

- vychází s maximální posuvné rychlosti vozíku

$$v_{max} = r_P \cdot \omega_P \rightarrow \omega_P = \frac{v_{max}}{r_P} = \frac{0,3}{0,0125} = 24 \text{ rad/s} \quad (4.08)$$

### Otáčky pastorku

$$\omega_P = 2 \cdot \pi \cdot n_P \rightarrow n_P = \frac{\omega_P}{2 \cdot \pi} = 3,82 \text{ ot/s} \quad (4.09)$$

### Zrychlení vozíku

Pro výpočet zrychlení vozíku je nutné zvolit čas  $t_r$ , za který zrychlí vozík z nulové počáteční rychlosti na požadovanou rychlost. Je zvolen čas  $t_r = 0,6 \text{ s}$ .

$$a_V = \frac{v_{max}}{t_r} = \frac{0,3}{0,6} = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (4.10)$$

### Celková hmotnost vozíku

$$m_c = m_V + m_O + m_M + m_{P\check{R}} + m_P \quad (4.11)$$

$$m_c = 0,345 + 0,025 + 0,036 + 0,014 + 0,022 = 0,442 \text{ kg}$$

### Úhlové zrychlení pastorku

$$\varepsilon_P = \frac{a_V}{r_P} = \frac{0,5}{0,0125} = 40 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (4.12)$$

### Převodový poměr mezi rychlosti motoru a pastorku

- Otáčky motoru  $n_m = 50 \text{ s}^{-1}$

- Otáčky pastorku  $n_P = 3,82 \text{ s}^{-1}$

$$i = \frac{n_m}{n_P} = \frac{50}{3,82} = 13,08 \quad (4.13)$$

### Úhlová rychlost motoru

$$\omega_M = 2 \cdot \pi \cdot n_m = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.14)$$

### Úhlové zrychlení motoru

$$\varepsilon_M = \frac{a_V \cdot i}{r_P} = \frac{0,5 \cdot 13,08}{0,0125} = 523,2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (4.15)$$

Redukovaný moment setrvačnosti vozíku

Výpočet redukovaného momentu setrvačnosti vychází z předpokladu, že celkové množství kinetické energie pohybujících se části soustavy, redukované na jednu osu je konstantní.

$$\frac{1}{2} \cdot J_{Mred.V} \cdot \omega_M^2 = \frac{1}{2} \cdot m_c \cdot v_{max}^2 \quad (4.16)$$

Vyjádření vztahu pro výpočet  $J_{Mred.V}$ :

$$J_{Mred.V} = m_c \cdot \frac{v_{max}^2}{\omega_M^2} = 0,442 \cdot \frac{0,3^2}{314,16^2} = 4,030 \cdot 10^{-7} kg \cdot m^2 \quad (4.17)$$

Výpočet potřebné síly na ozubeném hřebeni

$$F_P = \frac{m_c \cdot g}{r_P} \cdot \zeta \cdot \frac{1}{\eta_{Htb.}} = \frac{0,442 \cdot 9,81}{0,007} \cdot 0,0077 \cdot \frac{1}{0,92} = 5,181 N \quad (4.18)$$

Moment zátěže hnaného stroje

$$M_Z = F_P \cdot \frac{D}{2} = 5,181 \cdot 0,0125 = 0,064 Nm \quad (4.19)$$

Nominální moment zátěže redukovaný na hřídel motoru

$$M_{Nom.} = M_Z \cdot \frac{\omega_P}{\omega_M} = 0,064 \cdot \frac{24}{314,16} = 4,889 \cdot 10^{-3} Nm \quad (4.20)$$

Dynamický moment setrvačnosti vozíku

$$M_{DV} = J_{Mred.V} \cdot \varepsilon_M = 4,030 \cdot 10^{-7} \cdot 523,2 = 2,108 \cdot 10^{-4} Nm \quad (4.21)$$

Redukovaný moment setrvačnosti rotačních částí

$$\frac{1}{2} \cdot J_M \cdot \omega_M^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{P\check{R}} \cdot \omega_P^2 + \frac{1}{2} \cdot J_P \cdot \omega_P^2 = \frac{1}{2} \cdot J_{Mred.R} \cdot \omega_M^2 \quad (4.22)$$

Vyjádření vztahu pro výpočet  $J_{Mred.R}$ :

$$J_{Mred.R} = J_M + J_{P\check{R}} \cdot \frac{\omega_P^2}{\omega_M^2} + J_P \cdot \frac{\omega_P^2}{\omega_M^2} = 5,1 \cdot 10^{-7} + 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{24^2}{314,16^2} + 1,628 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{24^2}{314,16^2} = 5,195 \cdot 10^{-7} kg \cdot m^2 \quad (4.23)$$

Dynamický moment setrvačnosti rotačních částí

$$M_{DR} = J_{Mred.R} \cdot \varepsilon_M = 5,195 \cdot 10^{-7} \cdot 523,2 = 2,718 \cdot 10^{-4} Nm \quad (4.24)$$

Potřebný moment motoru

$$M_M = (M_{Nom.} + M_{DR} + M_{DV}) \cdot \frac{1}{\eta_{Pr}} = (4,889 \cdot 10^{-3} + 2,718 \cdot 10^{-4} + 2,108 \cdot 10^{-4}) \cdot \frac{1}{0,75} = 0,0065 \text{ Nm} \quad (4.25)$$

Potřebný výkon motoru

$$P = M_M \cdot \omega_M = 0,0065 \cdot 314,16 = 2,048 \text{ W} \quad (4.26)$$

Kontrolní výpočet potvrdil, že navržený motor o výkonu 5 W vyhovuje.

#### 4.8 Geometrický výpočet pastorku a ozubeného hřebene

Rotační pohyb hřídele motoru je transformován na lineární pohyb jezdce pomocí převodu pastorek-ozubený hřeben. Geometrický výpočet ozubení je proveden v programu Mitcalc. Kompletní výpočet ozubení je uveden v příloze B.

##### 4.8.1 Volba vstupních parametrů

Volba vstupních parametrů vychází z vypočteného výkonu potřebného k uvedení jezdce do pohybu. Požadovaný převodový poměr byl zvolen největší, který umožňuje program Mitcalc.

Přenášený výkon	Pw	0,002	0,002	[kW]
Otáčky pastorku / kola	n [/min]	229,0	1,6	[/min]
Krouticí moment (pastorek / kolo)	Mk [Nm]	0,09	11,91	[Nm]
Požadovaný převodový poměr / z tabulky	i	<b>140,00</b>		
Skutečný převodový poměr / odchylka	i	140,00	0,00%	

Obr. 4-14 - Vstupní parametry

##### 4.8.2 Volba materiálů a provozních parametrů

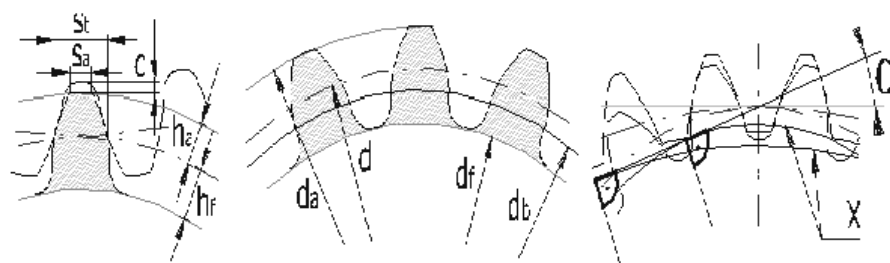
Požadovaná životnost nemusí být velká, jelikož se jedná o laboratorní úlohu. Jednotlivé volené parametry jsou uvedeny na obr.4-15.

Materiál pastorku :	A...Konstrukční ocel ušlechtilá uhlíková C60E4(683/1-87) (Rm=540 MPa) normalizačně žihaná		
Materiál kola :	A...Konstrukční ocel ušlechtilá uhlíková C60E4(683/1-87) (Rm=540 MPa) normalizačně žihaná		
Typ zatížení převodovky od hnacího stroje	A...Plynulé		
Typ zatížení převodovky od poháněného stroje	A...Plynulé		
Typ uložení soukolí	Oboustranně symetricky uložené soukolí - typ 2		
Stupeň přesnosti - ISO1328   Ra max   v max.	8.....(Ra max.= 3,2 / v max.= 5)		
Koeficient jednorázového přetížení	KAS	1,50	[h]
Požadovaná životnost	Lh	2000	
Koeficient bezpečnosti (dotyk/ohyb)	SH / SF	1,20      1,40	

Obr. 4-15 - Materiál a provozní podmínky

#### 4.8.3 Základní rozměry ozubení

Základní rozměry pastorku a ozubeného hřebenu jsou uvedeny na obr. 4-17.



Obr. 4-16 - Grafické znázornění rozměrů ozubení

Počty zubů pastorku / kola	z	50	7000	
Šířka pastorku / kola	b	12	14	[mm]
Normální modul	mn	0,5		[mm]
Tečný modul	mt	0,5000		[mm]
Normální rozteč	p	1,571		[mm]
Čelní rozteč	pt	1,571		[mm]
Základní rozteč	ptb	1,476		[mm]
Osová vzdálenost (roztečná)	a	1762,5000		[mm]
Osová vzdálenost (výrobní)	av	1762,5000		[mm]
Osová vzdálenost (pracovní)	aw	1762,5000		[mm]
Úhel záběru	$\alpha$	20,00		[°]
Čelní úhel záběru	$\alpha_t$	20,0000		[°]
Valivý úhel záběru normální	$\alpha_{wn}$	20,0000		[°]
Valivý úhel záběru čelní	$\alpha_{wt}$	20,0000		[°]
Úhel sklonu zubů	$\beta$	0,00		[°]
Základní úhel sklonu	$\beta_b$	0,0000		[°]
Průměr hlavové kružnice	da	26,0000	3501,0000	[mm]
Průměr roztečné kružnice	d	25,0000	3500,0000	[mm]
Průměr základní kružnice	db	23,4923	3288,9242	[mm]
Průměr patní kružnice	df	23,7500	3498,7500	[mm]
Průměr valivé kružnice	dw	25,0000	3500,0000	[mm]
Výška hlavy zubu	ha	0,5000	0,5000	[mm]
Výška paty zubu	hf	0,6250	0,6250	[mm]

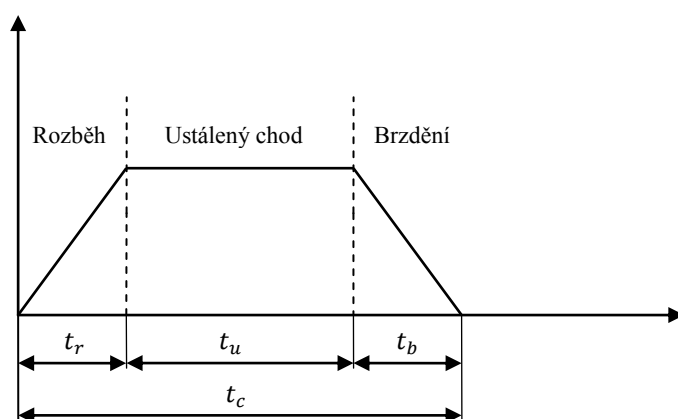
Obr. 4-17 - Základní rozměry ozubení



Pastorek i ozubený hřeben je vybrán z katalogu firmy Haberkorn Ulmer s.r.o. [18]

#### 4.9 Rychlostní průběh pro rotační pohyb

Rychlostní průběh rotačního pohybu je lichoběžníkového tvaru, kdy doba rozběhu a brzdění je stejná. Doba rozběhu byla stanovena v bodě 4.7.3 na čas  $t_r = 0,6 \text{ s}$ . Ozubený pastorek se bude odvalovat na dráze 1500 mm.[2]



Obr. 4-18 - Rychlostní diagram lineárního pohybu

Doba rozběhu a brzdění

$$t_r = t_b = 0,6 \text{ s} \quad (4.27)$$

Celková dráha pohybu

$$S = 1,5 \text{ m}$$

Dráha rozběhu a brzdění

$$S_r = S_b = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_r^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,6^2 = 0,09 \text{ m} \quad (4.28)$$

Dráha ustáleného chodu

$$S_u = S - 2 \cdot S_r = 1,5 - 2 \cdot 0,09 = 1,32 \text{ m} \quad (4.29)$$

Doba ustáleného chodu

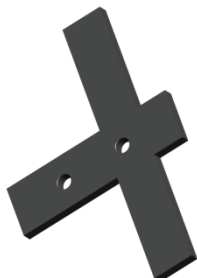
$$t_u = \frac{S_u}{v} = \frac{1,32}{0,3} = 4,4 \text{ s} \quad (4.30)$$

Celkový čas pohybu

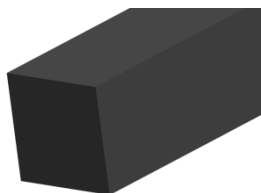
$$t_c = t_r + t_u + t_b = 0,6 + 4,4 + 0,6 = 5,6 \text{ s} \quad (4.31)$$

#### 4.10 Nosná konstrukce

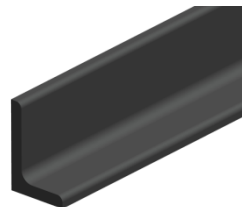
Nosnou konstrukcí je svařenec tvořen nerovnoramenným L profilem (obr.4-21), čtvercovou tyčí (obr.4-20) a výpalkem z plechu (obr.4-19). V profilu L budou vyvrtány průchozí díry pro šroub.[15]



Obr. 4-21 -  
Podložka



Obr. 4-20 -  
Čtvercová tyč 4HR  
8Z

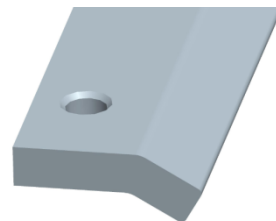


Obr. 4-19 -  
Nerovnoramenný  
L profil  
30x20x4-1700

Z důvodu neopracovaného povrchu L profilu a přesného vedení je zapotřebí použít k vedení vozíku hliníkovou tyč ohnutou do úhlu 120° (vodící profil). Ve vodícím profilu jsou vyvrtány díry pro zápusťné šrouby ve stejných vzdálenostech jako v L profilu.

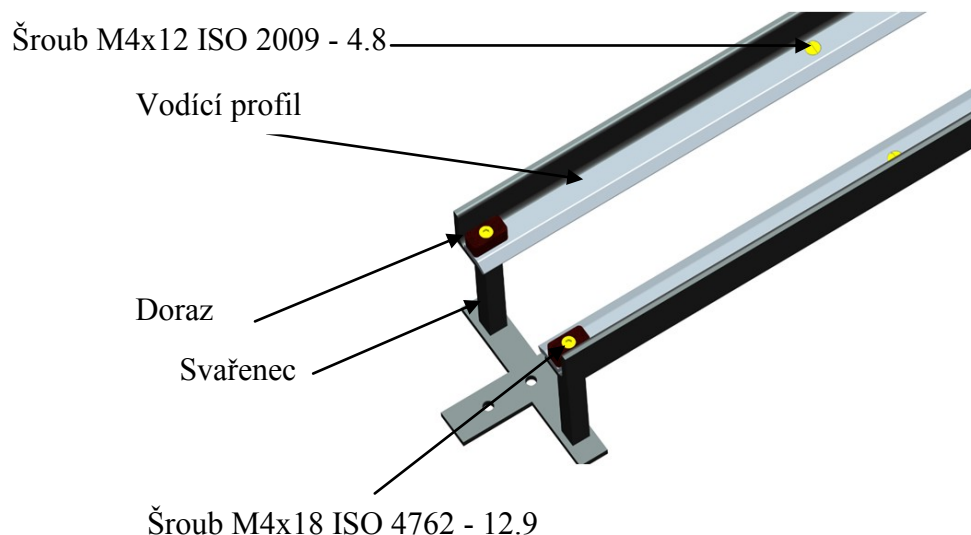
Rozměry profilu	
Délka	1700 mm
Tloušťka	4 mm
Úhel	120 °

Tab. 4-3 – Základní rozměry vodícího profilu



Obr. 4-22 - Vodící  
profil

Vodící profil a L profil se spojí pomocí zápusťných šroubu M4x12 a zajistí maticí M4. Konce vedení jsou opatřeny pryžovými dorazy, které jsou přišroubovány pomocí šroubu M4x18. Dorazy nejsou počítány z důvodu minimálních sil.



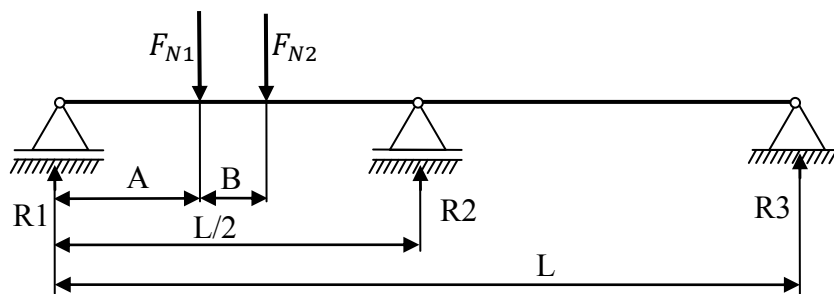
Obr. 4-23 - Nosná konstrukce

#### 4.11 Výpočet nosné konstrukce

Nejdůležitějším parametrem výpočtu je výsledný průhyb vedení. Maximální dovolený průhyb po konzultaci s vedoucím práce byl stanoven na  $y = 0,1$  mm. Pokud nebude dosaženo této podmínky, bude zapotřebí zvětšit základní L profil nebo přidat podporu uprostřed vedení.

##### 4.11.1 Volba vstupních parametrů

Velikost zatěžujících sil je vypočtena dle vztahu (4.02), kdy  $F_{N1} = F_{N2} = F_{rk}$ . Vzdálenost B je zobrazena na obr. 4-16. Jedná se o staticky neurčitou úlohu, proto je k výpočtu nosné konstrukce použit program Mitcalc. Délka nosníku  $L = 1700$  mm.



Obr. 4-24 - Silový rozbor

$$A = \frac{L}{4} - \frac{B}{2} = \frac{1700}{4} - \frac{64}{2} = 393 \text{ mm} \quad (4.32)$$

#### 4.11.2 Materiál profilu

Materiálem nosníku je konstrukční ocel. Na obr.4-25 jsou zobrazeny parametry zvoleného materiálu.

Seznam materiálů	Konstrukční ocel EC 3, EN 10025; Fe 360 (210000)		
Hustota	$\gamma$	7850,0	<input checked="" type="checkbox"/> [kg/m <sup>3</sup> ]
Modul pružnosti v tahu	E	210000	<input checked="" type="checkbox"/> [MPa]
Dovolené napětí v ohybu	$\sigma_b$	100	<input type="checkbox"/> [MPa]

Obr. 4-25 - Parametry zvoleného materiálu

#### 4.11.3 Profil nosníku

Nosník zde představuje nerovnoramenný L profil délky 1700 mm.

Typ profilu	17...L - profil (Počítaný)		
Rozměr profilu	Prázdná tabulka		
Uživatelské parametry profilu	Ne		
Počet nosníků vedle sebe	A	1	
Plocha	Ix	184	[mm <sup>2</sup> ]
Kvadratický moment k ose x	Ix	16139,24638	[mm <sup>4</sup> ]
Průřezový modul v ohybu	Sx	826,731997	[mm <sup>3</sup> ]

B	20,00	[mm]
H	30,00	[mm]
s	4,00	[mm]
t	4,00	[mm]

Obr. 4-26 - Statické hodnoty profilu

#### 4.11.4 Výsledný průhyb a reakce v podporách

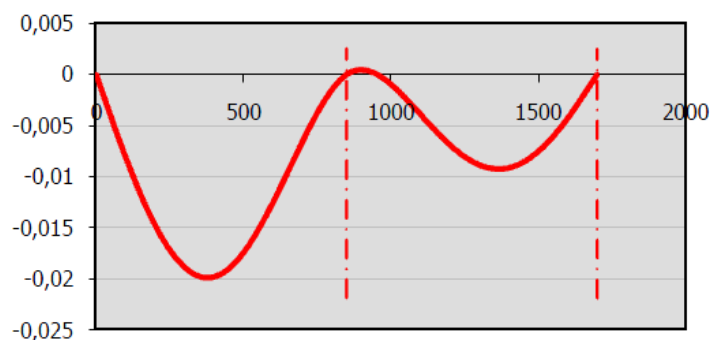
Výsledný průhyb nesmí překročit zvolený maximální průhyb. Průběh průhybu je zobrazen na obr.4-27.

Číslo podpory zleva	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	
Reakce v podporách	5,80	17,36	4,33	

Ohybový moment Min. / Max.	Mo	-1,54	1,16	[Nm]
Průhyb nosníku Min. / Max	y	-0,020	0,000	[mm]
Ohybové napětí Min. / Max	$\sigma_b$	-1,9	1,4	[MPa]
Hmotnost nosníku	m	2,5		[kg]
Max. délka volného konce (vybočení)	Lmax	0,0		[mm]
Relativní průhyb nosníku Max.	y'	0,002		[%]

Obr. 4-27 - Výsledná hodnota průhybu a reakcí



*Obr. 4-28 - Průběh průhybu*

Při prvním výpočtu nosné konstrukce vyšel výsledný průhyb větší než průhyb dovolený. Proto bylo zapotřebí přidat uprostřed vedení podpěru. Poté byl proveden kontrolní výpočet a výsledný průhyb vyšel menší než dovolený. Kompletní výpočet nosníku provedený v Mitcalcu je uveden v příloze C.

## 4.12 Palety

Jelikož se jedná o laboratorní úlohu, není v této práci řešen přísun a odsun materiálu. Proto jsou navrženy zásobovací palety a odkládací box, na které je možné uložit komponenty pro pět kompletních cyklů montáže. Po vyprázdnění zásobovacích palet je nutné pozastavit úlohu a opětovně naplnit zásobovací palety a vyprázdnit odkládací box.

### 4.12.1 Zásobovací paleta

Zásobovací paleta je tvořena dvěma ocelovými plechy, které jsou k sobě svařeny. Horní plech má v sobě vypáleny otvory odpovídající velikostem komponentů. Spodní plech slouží jako základ. Nohy palet jsou opatřeny patkami, které mají vyvrtány otvory pro šrouby.



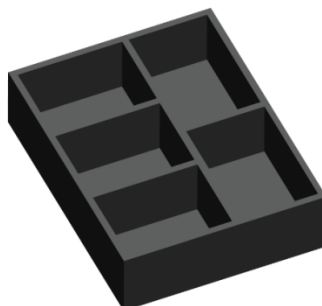
*Obr. 4-29 - Zásobovací paleta 2*



*Obr. 4-30 - Zásobovací paleta 1*

#### 4.12.2 Odkládací box

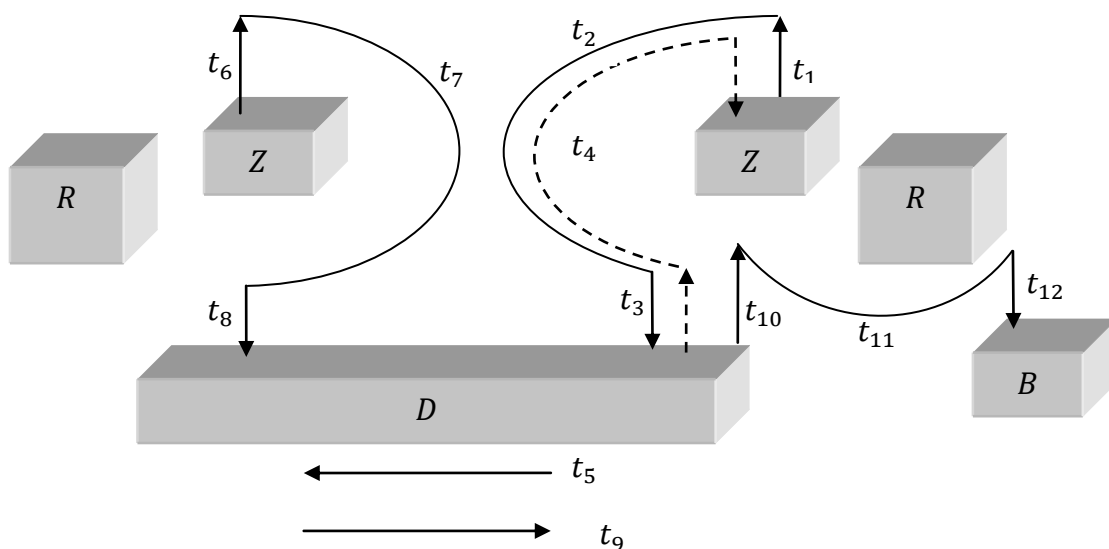
Pro odložení kompletně složeného autíčka je navrhnut odkládací box, který má uvnitř přepážky. Box je vyroben z překližky a připevněn pomocí šroubů k pracovnímu stolu. Tímto odpadá svařování a vrtání děr.



Obr. 4-31 - Odkládací box

#### 4.13 Časová studie

V časové studii jsou uvedeny odhadované časy potřebné k úplné montáži jednoho komponentu.



Obr. 4-32 - Schéma pro časovou studii

Legenda:

R – robot , Z – technologické palety, B- odkládací box , D – dopravník , plná čára – pohyb zatíženého robotu , čárkovaná čára – pohyb nezatíženého robotu

Popis operace		Čas [s]
Operace 1- robot „B“		
$t_1$	Uchopení komponentu a pohyb kolmo vzhůru z definované polohy	5
$t_2$	Otočení robotu nad přípravek umístěný na dopravníku	2
$t_3$	Pohyb kolmo dolů a umístění komponentu do přípravku	5
$t_4$	Pohyb kolmo vzhůru, otočení robotu a pohyb kolmo dolů	6
Celkový čas potřebný k vložení jednoho komponentu do přípravku		12
<b>Celkový čas potřebný k montáži 4 komponentu</b>		<b>68</b>
Operace 2 - dopravník		
$t_5$	Pohyb dopravníku	5
Operace 3 – robot „A“		
$t_6$	Uchopení komponentu a pohyb kolmo vzhůru z definované polohy	5
$t_7$	Otočení robotu nad přípravek umístěný na dopravníku	5
$t_8$	Pohyb kolmo dolů a umístění komponentu do přípravku	5
Operace 4 - dopravník		
$t_9$	Pohyb dopravníku zpět	2
Operace 5 – robot „B“		
$t_{10}$	Uchopení komponentu a pohyb kolmo vzhůru z definované polohy	5
$t_{11}$	Otočení robotu nad odkládací box	2
$t_{12}$	Pohyb kolmo dolů a uložení	5
<b>Čas potřebný k úplné montáži</b>		<b>102</b>

Tab. 4-4 – Časová studie

## 5 Instalace periferií

### 5.1 Kotvení

Dopravník, zásobovací palety i odkládací box je nutné pevně ukotvit ke stolům z důvodu bezpečnosti a správné funkce. Každé z těchto zařízení má patky opatřené otvory pro šrouby.

## 5.2 Použité energie

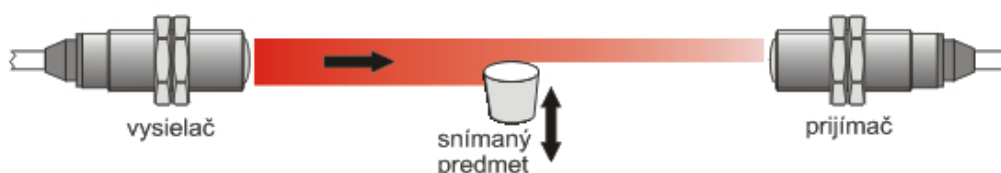
Pneumatické efektory instalované na robotech Mitsubishi jsou napojeny na rozvod vysokotlakého vzduchu v laboratoři UCR. V tabulce 5-1 jsou uvedeny potřebné energie.

Zařízení	Počet	El. energie	Pneu. energie	Napájecí napětí	Příkon	Max. tlak
Mitsubishi RV-2AJ	2 ks	✓	-	-	200 W	-
Dopravník	1 ks	✓	-	24 V	5 W	-
Efektor PGF 80-AS	2 ks	-	✓	-	-	6 bar
Řídicí systém CR1-571	2 ks	✓	-	-	-	-

Tab. 5-1 – Tabulka použitých energií

## 5.3 Bezpečnost

Navržené pracoviště v laboratoři je ohrazeno bezpečnostním zábradlím o výšce 1100 mm. Dále jsou použity tlačítka centrální stop umístěné ve vstupu do pracoviště. Pracoviště je dovybaveno dvěma jednocestnými světelnými závory, které jsou umístěny ve vstupu do pracoviště. Jednocestná světelná závora se skládá z vysílače (obr.5-3) a přijímače (obr.5-2). Vysílač i přijímač je upevněn k pracovním stolům. Při přerušení infračerveného paprsku se pozastaví veškerá montážní činnost. Princip je zobrazen na obr.5-1. Hrany všech instalovaných zařízení musí být sraženy nebo zaobleny nesouvisí-li přímo s funkcí zařízení.



Obr. 5-1 - Princip jednocestné světelné závory



Jednocestná světelná závora		
	Vysílač	Přijímač
Výrobce	Ifm electronic	Ifm electronic
Typ	OF5021	OF5053
Dosah	4 m	4 m
Druh světla	Infračervené světlo 880 nm	Infračervené světlo 880 nm
Připojení	M12 konekt. připojení	M12 konekt. připojení
Provozní teplota	-25°C – 60°C	-25°C – 60°C

Tab. 5-2 – Parametry přijímače a vysílače světelné závory



Obr. 5-2 – Přijímač OF5053 [16]



Obr. 5-3 – Vysílač OF5021 [17]

## 6 Technicko-ekonomické zhodnocení

Nákladová studie zahrnuje pouze ceny polotovaru, elektroniky a spojovacího materiálu, nikoliv ceny za práci a výrobu dílů. Některé drobné díly budou vyrobeny pomocí 3D tisku, jejichž cena je závislá na složitosti a množství použitého materiálu. Pro levnější výrobu mohou být použity vysokoškolské dílny.

Komponent	Díl	Množství [ks]	Výrobce	Celk. cena [Kč]
Palety	Zásobovací paleta 1	1	-	1040
	Zásobovací paleta 2	1	-	1820
	Odkládací box	1	-	350

Komponent	Díl	Množství [ks]	Výrobce	Celk. cena [Kč]
Nosná konstrukce	Motor	1	Maxon	2822
	Převodovka	1	Maxon	1170
	Nerovnoramenný L profil	2	Ferona	650
	Hliníkový profil	2	Ferona	350
	Doraz	4		100
	Šroub M4x16	16		48
	Matice M4	16		32
	Šroub M4x18	4		12
Efektor	Úchopové prvky	2	-	1560
	Úchopové prvky	2	-	1620
Světelná závora	Vysílač	2	Ifm	
	přijímač	2	Ifm	
Celkové náklady pracoviště				8364

*Tab. 6-1 – Celkové náklady*

Ceny nakoupených komponentů jsou uvedeny z internetových ceníků firem. Nelze spočítat finanční návratnost, jelikož pracoviště slouží k výukovým účelům. Uvedené ceny jsou platné k datu 15.5.2011.

## 7 Závěr

Cílem bakalářské práce je navrhnout montážní pracoviště na Centru robototechniky za využití 2 až 3 robotů Mitsubishi RV-2AJ nebo ABB IRB 140. Pro přehlednost je závěr členěn do odstavců, kdy každý odstavec odpovídá dané kapitole.

Úvodní kapitola bakalářské práce se zabývá analýzou stávajících zařízení Centra robototechniky. V rešerši jsou popsány základní parametry, vlastnosti a kinematické schéma robotů Mitsubishi a ABB, periferních zařízení a řídicího systému IRC 5.

V úvodu druhé kapitoly jsou stanoveny požadavky kladené na montážní pracoviště. Dalším krokem bylo najít vhodné předměty k montáži. Na základně námi navržených požadavků jsou vytvořeny tři návrhy montážních pracovišť, které jsou podrobně popsány a vymodelovány v ProEngineeru.

Třetí kapitola se zabývá hodnotovou analýzou, která je potřebná k určení optimální varianty. Nejdříve se stanovila bodová stupnice a následně se zvolila hodnotící kritéria vycházející z požadavkového listu. Pomocí metody trojúhelníku páru provedené dvěma znalci, jsou vyhodnoceny počty voleb potřebné k určení váhy významnosti. V posledním kroku jsou vypočteny vážené indexy jednotlivých variant, kdy součet vážených indexů v jednotlivých variantách nám určí optimální variantu.

Tato kapitola se zabývá konstrukcí dopravníku optimální varianty. Dopravník je tvořen nosnou konstrukcí, vozíkem, ozubeným hřebenem a podporou. Nosnou konstrukci tvoří svařenec, na kterém je upevněn vodící profil sloužící k vedení vozíku. Vozík je část dopravníku pohybující se mezi roboty Mitsubishi RV-2AJ a je opatřený přípravkem pro montáž. V úvodu je experimentálně určena síla potřebná ke spojení dvou komponentů, kdy bylo provedeno deset měření, a byla vypočtena průměrná hodnota této síly. Následoval návrh efektoru, kdy jsou použity stávající efekторы. Je zapotřebí pomocí 3D tisku vytvořit úchopové prvky odpovídající tvaru komponentu pro snížení úchopové síly. V dalším kroku je předběžně vypočten potřebný výkon motoru. Motor i převodovka jsou zvoleny od společnosti Maxon z důvodu minimálních rozměrů a hmotností. Z předběžného vypočteného výkonu je vybrán z katalogu motor EC Flat. K motoru je vybrána vhodná převodovka. Následuje kontrolní výpočet výkonu motoru a bylo zjištěno, že motor i převodovka vyhovují. Dále je zapotřebí určit rozměry pastorku a ozubeného hřebenu. Je proveden geometrický výpočet ozubení pomocí programu Mitcalc. Ze zjištěných rozměrů je

z katalogu firmy Haberkorn Ulmer s.r.o. vybrán pastorek a jemu odpovídající ozubený hřeben. Další částí je výpočet nosné konstrukce dopravníku. Pro výpočet nosné konstrukce bylo zapotřebí znát celkovou hmotnost pohybující se části tj. hmotnost vozíku, motoru, převodovky, pastorku, objektu montáže a spojovacího materiálu. Při výpočtu je důležitý výsledný průhyb, který musí být menší než stanovený maximální průhyb. Výpočet nosné konstrukce je proveden v programu Mitcalc. Jelikož se jedná o laboratorní úlohu není řešen přísun a odsun materiálu. Proto jsou navrženy jednoduché zásobovací palety a odkládací box pro kompletně složené autíčka. Palety i box jsou navrženy pro 5 kompletních cyklů montáže. V dalším bodě je proveden časový rozbor úplné montáže autíčka s Chevy a rozpis potřebných energií. V konečné fázi práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

Pro realizaci montážního pracoviště by se musela dopracovat veškerá výkresová dokumentace jednotlivých komponentů dopravníku.

Bakalářská práce je doložena výkresovou dokumentací dispozičního řešení optimální varianty a vybraného periferního zařízení.

## 8 Reference

### 8.1 Použitá literatura

- [1] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2003. 866 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [2] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pohony a převody*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 1992. 171 s. ISBN 80-7078-137-8
- [3] MORAVEC, Vladimír. *Konstrukce strojů a zařízení II. : Čelní ozubená kola*. Ostrava : Montanex, 2001. 291 s. ISBN 80-7225-051-5.
- [4] BURKOVÍČ, Jan. *Navrhování RTP*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2002. 114 s. ISBN 80-248-0217-1
- [5] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. 95 s. ISBN 978-80-248-1290-8

### 8.2 Internetové zdroje

- [6] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace* [online]. Ostrava : Katedra robototechniky, 2009 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/technicka\\_dokumentace/titulni\\_strana.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/technicka_dokumentace/titulni_strana.htm)>. ISBN 80-248-0217-1.
- [7] BURKOVÍČ, Jan. *Mechanizace a automatizace výrobních zařízení* [online]. Ostrava : VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2003 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://robot.vsb.cz/files/resources/mechanizace-a-automatizace-vyrobnich-zarizeni.pdf>>. ISBN 80-248–0513–8.
- [8] *Abb.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.abb.com/product/seitp327/7c4717912301eb02c1256efc00278a26.aspx>>.
- [9] *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2002 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28493](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28493)>.
- [10] *Historiarobotiky.adamdevop.com* [online]. 2006 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://historiarobotiky.adamdevop.com/polohovaci-robot-oj-10-p/>>.

- [11] *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2004 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32324](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32324)>.
- [12] *Kabinet.fyzika.net* [online]. 2010 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://kabinet.fyzika.net/studium/tabulky/rameno-valiveho-odporu.php>>.
- [13] *Maxonmotor.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/350804.xml>>.
- [14] *Maxonmotor.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/258045.xml>>.
- [15] *Ferona.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>>.
- [16] *Ifm.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.ifm.com/ifmcz/web/dsfs!OF5053.html>>.
- [17] *Ifm.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.ifm.com/ifmcz/web/dsfs!OF5021.html>>.
- [18] *Haberkorn.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.haberkorn.cz/ozubena-kola-tyce-a-soukoli/>>.

### 8.3 Seznam použitých obrázku

Obr. 1-1 - Průmyslový robot ABB IRB 140 .....	12
Obr. 1-2 - Kinematická struktura .....	13
Obr. 1-3 - Základní rozměry pracovního prostoru .....	13
Obr. 1-4 – Mitsubishi RV-2AJ .....	14
Obr. 1-5 - Základní rozměry pracovního prostoru .....	15
Obr. 1-6 - Kinematické schéma .....	16
Obr. 1-7 - Polohovací robot OJ-10P .....	17
Obr. 1-8 - Řídicí systém ABB IRC5 .....	18
Obr. 2-1 - Schéma pracoviště varianty A .....	20
Obr. 2-2 - 3D model varianty A .....	21
Obr. 2-3 - 3D model rozloženého vypínače .....	21
Obr. 2-4 - Schéma pracoviště varianty B .....	22
Obr. 2-5 - 3D model pracoviště varianty B .....	23
Obr. 2-6 - 3D model ručního lisu na česnek .....	23
Obr. 2-7 – Schéma pracoviště varianty C .....	24
Obr. 2-8 - 3D model pracoviště varianty C .....	25
Obr. 2-9 – 3D model autíčka z Chevy .....	25
Obr. 4-1 - Montážní síla .....	31

Obr. 4-2 - Efektor A .....	32
Obr. 4-3 - Efektor B .....	32
Obr. 4-4 - Dopravník .....	32
Obr. 4-5 - Podpora .....	33
Obr. 4-6 - Jezdec .....	33
Obr. 4-7 - Popis jednotlivých částí vozíku .....	34
Obr. 4-8 - Uvolnění komponentu s přípravku .....	34
Obr. 4-9 - Najetí vozíku do výchozí polohy .....	35
Obr. 4-10 - Rozbor sil .....	35
Obr. 4-11 - Maxon EC 20Flat .....	37
Obr. 4-12 - Převodovka Maxon GS 20 A .....	37
Obr. 4-13 - Kinematické schéma .....	37
Obr. 4-14 - Vstupní parametry .....	41
Obr. 4-15 - Materiál a provozní podmínky .....	42
Obr. 4-16 - Grafické znázornění rozměrů ozubení .....	42
Obr. 4-17 - Základní rozměry ozubení .....	42
Obr. 4-18 - Rychlostní diagram lineárního pohybu .....	43
Obr. 4-19 - Podložka .....	44
Obr. 4-20 - Čtvercová tyč 4HR 8Z .....	44
Obr. 4-21 - Nerovnoramenný L profil 30x20x4-1700 .....	44
Obr. 4-22 - Vodicí profil .....	44
Obr. 4-23 - Nosná konstrukce .....	45
Obr. 4-24 - Silový rozbor .....	45
Obr. 4-25 - Parametry zvoleného materiálu .....	46
Obr. 4-26 - Statické hodnoty profilu .....	46
Obr. 4-27 - Výsledná hodnota průhybu a reakcí .....	46
Obr. 4-28 - Průběh průhybu .....	47
Obr. 4-29 - Zásobovací paleta 2 .....	47
Obr. 4-30 - Zásobovací paleta 1 .....	47
Obr. 4-31 - Odkládací box .....	48
Obr. 4-32 - Schéma pro časovou studii .....	48
Obr. 5-1 - Princip jednocestné světelné závory .....	50
Obr. 5-2 – Přijímač OF5053 .....	501
Obr. 5-3 – Vysílač OF5021 .....	501

#### 8.4 Seznam použitých tabulek

Tab. 1-1 - Hlavní parametry .....	12
Tab. 1-2 - Rozsahy rychlosti a pohybu .....	13
Tab. 1-3 - Hlavní parametry .....	15
Tab. 1-4 - Rozsahy rychlosti a pohybu .....	15
Tab. 1-5 - Hlavní parametry .....	17
Tab. 1-6 - Rozsahy rychlosti a pohybu .....	17
Tab. 1-7 - Hlavní parametry .....	19
Tab. 2-1 - Požadavky na pracoviště .....	19
Tab. 3-1 - Bodová stupnice kritérií .....	26
Tab. 3-2 - Hodnotící kritéria .....	26
Tab. 3-3 - Hodnocení jednotlivých kritérií .....	27
Tab. 3-4 - Metoda trojúhelníku párů vypracována autorem .....	28

Tab. 3-5 - Metoda trojúhelníku párů vypracována osloveným expertem .....	28
Tab. 3-6 - Váhy významností .....	289
Tab. 3-7 – Zhodnocení varianty A .....	289
Tab. 3-8 – Zhodnocení varianty B .....	280
Tab. 3-9 – Zhodnocení varianty C .....	280
Tab. 4-1 – Parametry motoru .....	37
Tab. 4-2 – Parametry převodovky .....	37
Tab. 4-3 – Základní rozměry vodícího profilu .....	44
Tab. 4-4 – Časová studie .....	49
Tab. 5-1 – Tabulka použitých energií .....	50
Tab. 5-2 – Parametry přijímače a vysílače světelné závory .....	51
Tab. 6-1 – Celkové náklady .....	52

## 9 Seznam příloh

### 9.1 Dokumentace

- A Tabulka naměřených hodnot
- B Geometrický výpočet pastorku a ozubeného hřebenu
- C Výpočet nosné konstrukce

### 9.2 Výkresová dokumentace

Dispozice pracoviště

- 0-CHL170-01-01

Dopravník

- 2-CHL170-02-01

Vozík

- 2-CHL170-02-02

Nosná konstrukce

- 3-CHL170-02-03



### 9.3 Přiložený disk

- Bakalářská práce v elektronické podobě (\*.pdf)
- 3 D model optimální varianty
- 3D model dopravníku
- Výkresová dokumentace (AutoCad 2009,2006)